



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA KEKUATAN STRUKTUR *HELIDECK* PADA
KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI**

**Refdi
NRP 04111440000032**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA KEKUATAN STRUKTUR *HELIDECK* PADA
KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI**

**Refdi
NRP 04111440000032**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - MN 141581

**STRENGTH ANALYSIS OF *HELIDECK* STRUCTURES ON
OFFSHORE PATROL VESSEL**

**Refdi
NRP 04111440000032**

**Supervisor
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KEKUATAN STRUKTUR *HELIDECK* PADA KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Refdi

NRP 04111440000032

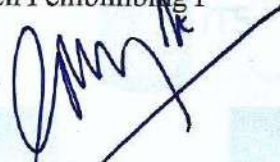
Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.
NIP 19840921 201212 2 001

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP 19590505 198403 1 012

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Mr. Wasis Dwi Ariawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19840210 198903 1 001

SURABAYA, 18 JULI 2018

LEMBAR REVISI

ANALISA KEKUATAN STRUKTUR *HELIDECK* PADA KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 4 Juli 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

REFDI

NRP 04111440000032

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Hasanudin, S.T., M.T.



2. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.



3. Totok Yulianto, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.



2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.



SURABAYA, 18 JULI 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Kedua orang tua dan ketiga adik saya yang telah memberikan dukungan, kepercayaan, dan doa kepada saya hingga terselesaikan nya laporan ini;
2. Bapak Prof.Ir. Acmad Zubaydi M.Eng,. dan Ibu Septia Hardy Sujiatanti ST., M.T selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Ibu Septia Hardy Sujiatanti ST., M.T selaku Dosen Wali dan yang telah memberikan dukungan secara moril;
4. Bapak Hasanudin S.T., M.T selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Haidar, Reza, Kupang, Robert, Uun, Nova, Hilda, Chandra, Rifqi, Aryo, Bima, Al, Tom, David Dan Nuku merupakan teman seperjuangan bidang konstruksi dan kekuatan kapal yang senantiasa memberikan bantuan dan motivasi
6. Teman – teman DEADRISE sudah memberikan bantuan dalam penulisan, menemani dalam proses pengerjaan, dan memberikan dukungan moral kepada saya selama pengerjaan penelitian ini;
7. Teman teman kontrakan BINBUT X BIP (Dul, Adit, Haidar, Awang, Kupang, Arras, Raka, Yoyok, Bayu, Byan, Keceng) yang sudah membantu dan menyemangati dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
8. Mas Dedi, dan Mbak shakinah selaku senior yang selalu membantu dari awal pembuatan Tugas Akhir hingga Tugas Akhir ini selesai
9. Adik-Adik Samudra Raksa, Ironclad, dan Dreadnought yang selalu menyemangati saya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2018

Refdi

ANALISA KEKUATAN STRUKTUR *HELIDECK* PADA KAPAL PATROLI LEPAS PANTAI

Nama Mahasiswa : Refdi
NRP : 04111440000032
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T

ABSTRAK

Implikasi dari letak geografis dan konstelasi Indonesia, wilayah perbatasan menjadi potensi konflik. Untuk menjaga perbatasan Indonesia, Pemerintah Indonesia membutuhkan armada kapal patroli yang banyak dan canggih. Salah satunya kecanggihannya adalah kapal harus memiliki helikopter yang digunakan untuk mempermudah pengawasan secara global, sehingga kapal harus memiliki *helideck* yang berguna untuk tempat mendarata dan lepas landas helikopter. Perencanaan konstruksi helikopter *deck* harus dapat menjamin suatu struktur dengan tegangannya tidak lebih dari tegangan izinnnya.

Penelitian akan dilakukan analisa tegangan *helideck* berdasarkan kondisi pembebanan yang didapatkan dari variasi pendaratan helikopter untuk menghitung nilai pembebanan maksimum, tegangan maksimum, dan deformasi. Menghitung tingkat keamanan pada konstruksi *helideck*, menghitung tingkat keamanan (*safety factor*) pada konstruksi *helideck* serta mengetahui komponen yang paling kritis dan perlu mendapatkan perhatian lebih. Pemodelan dilakukan dengan software elemen hingga. Hasil yang didapatkan berupa nilai tegangan *von misses* dan deformasi pada setiap kondisi pembebanan.

Nilai tegangan maksimum yang dihasilkan pada kondisi 1 sebesar 109 MPa dengan nilai deformasi sebesar 2.015 mm. besar nilai tegangan maksimum untuk kondisi 2 yaitu 135 MPa dengan nilai deformasi sebesar 2.069 mm. besar nilai tegangan maksimum untuk kondisi 3 yaitu 174 MPa dengan nilai deformasi sebesar 4.161 mm. besar nilai tegangan maksimum untuk kondisi 4 yaitu 223 MPa dengan nilai deformasi sebesar 5.969 mm. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kondisi 1 merupakan kondisi pendaratan helikopter yang paling optimum dengan tegangan kecil dan deformasi kecil.

Kata Kunci : analisa tegangan, helikopter, *helideck*, metode elemen hingga, *safety factor*

STRENGTH ANALYSIS OF HELIDECK STRUCTURES ON OFFSHORE PATROL VESSEL

Author : Refdi
Student Number : 04111440000032
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T

ABSTRACT

The implications of the geography and constellation of Indonesia, the border region becomes a potential conflict. To safeguard the Indonesian border, the Indonesian Government needs a large and sophisticated patrol boat fleet. One of the sophistication is that the ship must have a helicopter that is used to facilitate global monitoring, so the vessel must have a helideck that is useful for the place to mendarata and take off the helicopter. The helicopter deck construction plan should be able to guarantee a structure with a voltage not exceeding the permit voltage.

A helideck analysis will be analyzed based on the loading conditions obtained from helicopter landing variations to calculate maximum load value, maximum stress, and deformation. Calculates the safety level of the helideck construction, calculates the safety factor of the helideck construction and determines which components are most critical and needs more attention. Modeling is done with finite element software. The results obtained are von misses and deformation stress values under each loading condition.

The maximum voltage value generated under condition 1 is 109 MPa with a deformation value of 2.015 mm. the maximum value of the maximum voltage for condition 2 is 135 MPa with a deformation value of 2,069 mm. the maximum value of the maximum voltage for condition 3 is 174 MPa with a deformation value of 4,161 mm. the maximum value of the maximum voltage for condition 4 is 223 MPa with a deformation value of 5,969 mm. So it can be concluded that condition 1 is the most optimum helicopter landing conditions with small tension and small deformation.

Keywords : stress analysis, helicopter, helideck, finite element method, safety factor

DAFTAR ISI

γ

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii0
LEMBAR REVISI.....	iv0
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v0
KATA PENGANTAR.....	vi0
ABSTRAK	vii0
ABSTRACT	viii0
DAFTAR ISI	ix0
DAFTAR GAMBAR.....	xi0
DAFTAR TABEL	xiii0
DAFTAR SIMBOL	xiv0
Bab I PENDAHULUAN	10
I.1.0 Latar Belakang Masalah.....	10
I.2.0 Perumusan Masalah.....	20
I.3.0 Tujuan.....	20
I.4.0 Batasan Masalah.....	20
I.5.0 Manfaat.....	20
I.6.0 Hipotesis.....	30
Bab II STUDI LITERATUR	50
II.1.0 Dasar Teori.....	50
II.1.1.0 <i>Helideck</i>	50
II.1.2.0 Perhitungan Pembebanan	60
II.1.3.0 Metode Elemen Hingga	70
II.1.4.0 Konvergensi.....	100
II.1.5.0 Tipe Tumpuan	110
II.1.6.0 Tegangan	130
II.1.7.0 Regangan	140
II.1.8.0 Hubungan Tegangan dan Regangan	150
II.1.9.0 Deformasi	160
II.1.10.0 Tegangan <i>Von Mises</i>	160
II.1.11.0 Tegangan Izin Maksimum	170
II.1.12.0 Faktor Keamanan	170
II.2.0 Tinjauan Pustaka	180
II.2.1.0 Konstruksi <i>Helicopter Deck</i>	180
II.2.2.0 <i>Helipad</i>	190
II.2.3.0 Kekuatan Konstruksi	190
Bab III METODOLOGI	210
III.1.0 Studi Literatur	210
III.2.0 Pengumpulan Data	210
III.2.1.0 Ukuran Utama Kapal	210
III.2.2.0 Rencana Umum.....	220
III.2.3.0 Konstruksi kapal	230

III.2.4.0	Gambar Penampang Melintang Kapal	240
III.2.5.0	Ukuran Helikopter	250
III.3.0	Penentuan Variasi.....	260
III.4.0	Pemodelan <i>Helideck</i>	280
III.4.1.0	Tahap <i>Pre-processor</i>	280
III.4.2.0	<i>Solver</i>	330
III.4.3.0	Tahap <i>Post-processor</i>	350
III.5.0	Konvergensi Model	370
III.6.0	Bagan Alir	380
Bab IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	410
IV.1.0	Hasil Simulasi Model.....	410
IV.1.1.0	Kondisi 1	410
IV.1.2.0	Kondisi 2.....	420
IV.1.3.0	Kondisi 3.....	440
IV.1.4.0	Kondisi 4.....	450
IV.2.0	Pembahasan Hasil	470
IV.2.1.0	Tegangan Maksimum	470
IV.2.2.0	Deformasi Maksimum	510
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	530
V.1.0	Kesimpulan.....	530
V.2.0	Saran.....	530
	DAFTAR PUSTAKA.....	550
	LAMPIRAN	570
	LAMPIRAN A Gambar Rencana Umum Kapal	580
	LAMPIRAN B Gambar Konstruksi Kapal.....	650
	LAMPIRAN C Gambar Penampang Melintang.....	670
	LAMPIRAN D Katalog Profil.....	710
	LAMPIRAN E Perhitungan Beban	720
	LAMPIRAN F Konvergensi Model <i>Helideck</i>	730
	BIODATA PENULIS.....	740

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 <i>Aiming Circle, Clear Zone, dan Manoevering Zone</i>	60
Gambar II.2 Pengurangan Ukuran Elemen.....	100
Gambar II.3 Aspek Rasio Ukuran Elemen	110
Gambar II.4 Tumpuan Jepit.....	120
Gambar II.5 Tumpuan Roll	120
Gambar II.6 Tumpuan Engsel	120
Gambar II.7 Komponen Tegangan Normal dan Tegangan Geser	140
Gambar II.8 Petambahan Panjang Material.....	140
Gambar II.9 Hubungan Regangan dan Tegangan	150
Gambar II.10 Salah Satu Contoh Kapal yang Memiliki <i>Helideck</i>	180
Gambar III.1 Rencana Umum Kapal Bakamla 110 m	220
Gambar III.2 Konstruksi Kapal Bakamla	230
Gambar III.3 Penampang Melintang Kapal Bakamla	240
Gambar III.4 Detail Profil <i>Bulb</i>	250
Gambar III.5 Kondisi 1	260
Gambar III.6 Kondisi 2.....	270
Gambar III.7 Kondisi 3.....	270
Gambar III.8 Kondisi 4.....	270
Gambar III.9 Pemilihan Tipe Analisa	290
Gambar III.10 Proses Penentuan Elemen	290
Gambar III.11 Penentuan <i>Materials Properties</i>	300
Gambar III.12 Penentuan <i>Element Section</i> bagian <i>Shell</i>	310
Gambar III.13 Penentuan <i>Element Section</i> bagian <i>Beam</i>	310
Gambar III.14 Hasil Meshing.....	320
Gambar III.15 Pemberian Beban pada Model	340
Gambar III.16 Pengaplikasian Kondisi Batas.....	350
Gambar III.17 Proses Analisa.....	350
Gambar III.18 Contoh Hasil Analisa Berupa Tegangan.....	360
Gambar III.19 Contoh Hasil Analisa Berupa Deformasi	360
Gambar III.20 Grafik Konvergensi <i>Helideck</i>	370
Gambar III.21 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	390
Gambar IV.1 Tegangan Maksimum Model pada Kondisi 1	410
Gambar IV.2 Deformasi Maksimum Model pada Kondisi 1	420
Gambar IV.3 Tegangan Maksimum Model pada Kondisi 2	430
Gambar IV.4 Deformasi Maksimum Model pada Kondisi 2	430
Gambar IV.5 Tegangan Maksimum Model pada Kondisi 3	450
Gambar IV.6 Deformasi Maksimum Model pada Kondisi 3	450
Gambar IV.7 Tegangan Maksimum Model pada Kondisi 4	460
Gambar IV.8 Deformasi Maksimum Model pada Kondisi 4	460
Gambar IV.9 Grafik Tegangan pada Model.....	470
Gambar IV.10 Grafik Tegangan pada <i>Stiffeners</i>	490
Gambar IV.11 Grafik Tegangan pada <i>Main Girder</i>	500

Gambar IV.12 Grafik Deformasi pada Model.....	510
---	-----

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 <i>Structural member factor</i>	170
Tabel III.1 Rekapitulasi Dimensi konstruksi helideck	240
Tabel III.2 Profil <i>Bulb</i> pada Konstruksi <i>Helideck</i>	250
Tabel III.3 Kondisi Model <i>Helideck</i>	280
Tabel III.4 Pembebanan Pada <i>Helideck</i>	330
Tabel III.5 Hasil Konvergensi	380
Tabel IV.1 Nilai Tegangan Maksimum Pada Setiap Variasi Model	470
Tabel IV.2 Tegangan Maksimum pada <i>Stiffeners</i>	480
Tabel IV.3 Tegangan Maksimum pada <i>Main Girder</i>	500
Tabel IV.4 Deformasi Maksimum pada Model	510

DAFTAR SIMBOL

γ_f	= <i>Structural member factor</i>
σ_{perm}	= tegangan izin (N/mm ²)
σ_{vm}	= tegangan <i>von mises</i> (N/mm ²)
ΔL	= Perubahan panjang (m)
A	= area yang terkena beban angin (m ²)
A _o	= Luas penampang mula mula (m ²)
av	= factor percepatan
d	= Perpindahan
E	= Modulus elastisitas (kg.m/s ²)
E _{geser}	= Modulus elastisitas geser (kg.m/s ²)
F	= Gaya (N)
G	= berat maksimum helikopter (kN)
K	= Faktor bahan
L	= Panjang awal (m)
L ₁	= Panjang akhir (m)
M	= Momen
ϕ	= Defleksi
P	= gaya pada satu roda helikopter yang didistribusikan pada area roda yang menempel pada <i>helideck</i> (kN)
v _w	= kecepatan angin (m/s)
W _{He}	= beban angin didaerah pengikat helikopter (<i>lashing point</i>) (kN)
W _{St}	= beban angin <i>helideck</i> (kN)
ρ	= massa jenis air (kg/m ³)
γ	= Regangan geser
ε	= Regangan
θ	= Sudut antara garis hubungan tegangan dengan garis sumbu regangan (°)
σ	= Tegangan (N/m ² atau Pascal)
τ	= Tegangan geser (N/m ²)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan panjang garis pantai lebih dari 81000 km terdiri dari 17499 pulau dan luas laut sekitar 5.9 juta km², yang artinya 2/3 wilayah Indonesia merupakan wilayah lautan (Marsetio, 2014). Laut Indonesia sendiri mempunyai perbatasan dengan 10 negara yaitu: India, Thailand, Malaysia, Singapura, Vietnam, Philipina, Palau, Papua New Guinea (PNG), Timor Leste (RDTL) dan Australia (Hozairi, 2011). Implikasi dari letak geografis dan konstelasi Indonesia tersebut, wilayah perbatasan menjadi potensi konflik.

Untuk menjaga perbatasan Indonesia, Badan Keamanan Laut Republik Indonesia (BAKAMLA RI) membutuhkan armada kapal patroli yang banyak dan canggih. Salah satunya kecanggihannya adalah kapal harus memiliki helikopter yang digunakan untuk mempermudah pengawasan secara global, sehingga kapal harus memiliki *helideck* yang berguna untuk tempat mendarat dan lepas landas helikopter. perencanaan konstruksi helikopter *deck* adalah membuat suatu konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diizinkan dan bisa diterima. Perencanaan konstruksi helikopter *deck* harus dapat menjamin suatu struktur dengan tegangannya tidak lebih dari tegangan izin. Konstruksi *helideck* harus dirancang menghindari *elastic deformation* yang berlebihan yang dapat mengakibatkan perubahan bentuk geometri akibat dari beban yang diterima. Bagian-bagian tersebut haruslah diukur dengan tepat untuk gaya-gaya yang sesungguhnya atau yang dibebankan kepadanya.

Untuk memastikan *helideck* dapat digunakan dengan aman dan berfungsi sebagaimana mestinya, maka perlu diadakan penelitian sebagai upaya mengidentifikasi segala bahaya yang mungkin mengancam, tujuan utamanya adalah untuk memverifikasi kekuatan struktur *helideck*, ketika dikenakan beban dengan kondisi helikopter diam di landasan maupun dalam kondisi mendarat (*landing*).

Penelitian dilakukan untuk menghitung nilai pembebanan maksimum, tegangan maksimum, dan deformasi. Menghitung tingkat keamanan pada konstruksi *helideck*,

menghitung tingkat keamanan (*safety factor*) pada konstruksi *helideck* serta mengetahui komponen yang paling kritis dan perlu mendapatkan perhatian lebih. penelitian ini menggunakan metode elemen hingga.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

- a. Berapakah nilai tegangan maksimum pada struktur *helideck* ?
- b. Apakah kekuatan struktur dari *helideck* tersebut sudah memenuhi standart aturan klas ?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Memperoleh nilai tegangan maksimum pada struktur *helideck*.
- b. Membandingkan kekuatan struktur dari *helideck* dengan standart aturan klas.

I.4. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, permasalahan yang akan dikaji dibatasi pada:

- a. Analisa kekuatan konstruksi dilakukan dengan simulasi menggunakan *software* elemen hingga .
- b. Pemodelan meliputi struktur *helideck* sampai *main deck*.
- c. Perhitungan beban dilakukan pada kondisi muatan penuh
- d. Aturan yang digunakan sebagai tegangan izin kekuatan struktur *helideck* adalah berdasarkan aturan Biro Klasifikasi Indonesia
- e. Variasi dilakukan pada daerah pembebanan
- f. Analisa dilakukan pada keadaan kapal diam, sehingga beban gelombang diabaikan
- g. Analisa pemodelan dilakukan tanpa memperhitungkan kondisi trim kapal

I.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut:

- a. Sebagai referensi bagi pemerintah untuk pembangunan kapal patroli yang memiliki *helideck*.

- b. Sebagai model pembelajaran yang dapat dipelajari mahasiswa dengan harapan dapat dikembangkan

I.6. Hipotesis

Dengan tugas akhir ini, akan didapatkan kapal patroli lepas pantai memiliki *helideck* dengan kekuatan struktur sesuai dengan aturan klas BKI (Biro Klasifikasi Indonesia). .

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Dalam analisa tugas akhir ini diperlukannya teori teori yang berhubungan dengan tugas akhir ini yang berfungsi sebagai acuan atau pedoman agar analisa tugas akhir ini tidak menyimpang dari tujuan awal.

II.1.1. *Helideck*

Helideck adalah area pendaratan helikopter yang dibangun khusus di kapal termasuk semua struktur, peralatan pemadam kebakaran dan fasilitas lain yang diperlukan untuk operasi yang aman helikopter (DNV, 2010). Area pendaratan helikopter harus berada di *deck* yang paling atas dan memiliki zona maneuver yang luas, dan yang paling penting daerah pendaratan helikopter harus berada dekat dengan sisi kapal.

Daerah pendaratan harus memiliki area seluas mungkin untuk menyediakan akses yang aman helikopter pada saat mendarat. *Helideck* harus memiliki kolerasi antara zona pendaratan (*Aiming Circle*), zona bebas (*Clear Zone*), dan zona maneuver (*Manoevering Zone*) untuk meningkatkan factor keamanan dapat dilihat pada Gambar II.1. (IMO,1999).

1. *Aiming Circle*

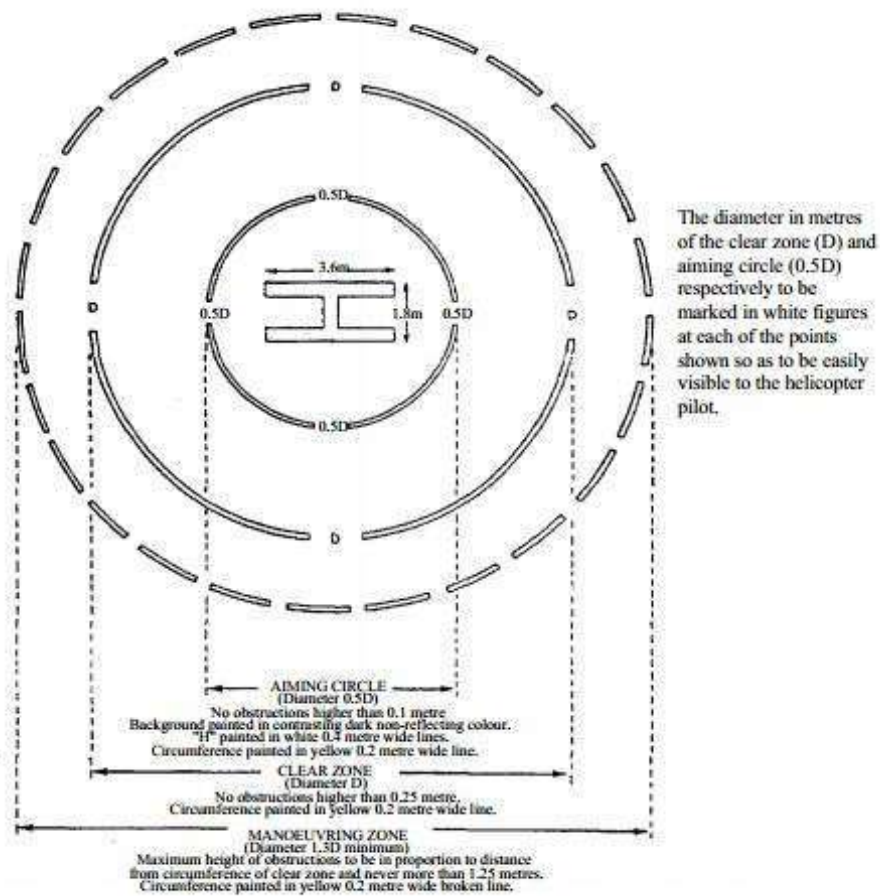
Aiming Circle merupakan zona pendaratan helikopter atau sering disebut dengan *helipad*. Lingkaran ini berada di tengah zona bebas dan memiliki diameter setengah dari diameter zona bebas. Permukaan dari zona pendaratan helikopter harus anti slip agar memudahkan saat pendaratan helikopter. Huruf 'H' harus ditulis ditulis dipusat lingkaran.

2. *Clear Zone*

Zona bebas memiliki lebar tergantung dari area pendaratan yang tersedia tetapi diameter zona bebas harus lebih besar sama dengan panjang keseluruhan dari helikopter yang akan mendarat. Di daerah zona bebas tidak ada benda yang tingginya lebih dari 0.25 m.

3. *Manoevering Zone*

Zona manuver merupakan daerah pendaratan yang luas dimana helikopter dapat melakukan maneuver dengan diameter minimal 1.3x diameter zona bebas. Ketinggian benda daerah maneuver berkisar 0.25 m -1.25 m.



Sumber: IMO,1999

Gambar II.1 Aiming Circle, Clear Zone, dan Manoeuvring Zone

II.1.2. Perhitungan Pembebanan

Helideck menerima beberapa gaya berbeda yang diambil sebagai pembebanan pada *helideck*. Gaya-gaya tersebut adalah gaya yang disebabkan oleh pendaratan helikopter (*landing force*), beban angin yang disebabkan oleh perputaran baling-baling helikopter (*wind load*), dan lain-lain. Dalam perhitungan beban dibagi menjadi 4 sesuai dengan kondisi pendaratannya (BKI, 2017).

1. Load Cases 1

Kondisi dimana helikopter sudah mendarat diatas *helideck*, dapat dihitung menggunakan persamaan II.1:

$$P = 0,5 \cdot G (1+av) \quad (II.1)$$

- Penambahan gaya sebesar 2.0 kN/m^2 yang didistribusikan keseluruh area *helipad* untuk beban lingkungan.

2. Load Cases 2

Kondisi dimana helikopter sudah mendarat diatas *helideck* yang memperhitungkan nilai gaya horizontal pada pengikat (*lashing*), dapat dihitung menggunakan persamaan II.2:

$$P = 0,5 \cdot G \quad (II.2)$$

- Gaya horizontal di daerah pengikat helikopter (*lashing point*)

$$H = 0,6 \cdot G + W_{He}, \text{ dengan } v_w = 50 \text{ m/s} \quad (II.3)$$

- Gaya horizontal di daerah *helideck*

$$H = 0,6 \cdot G + W_{St}, \text{ dengan } v_w = 50 \text{ m/s} \quad (II.4)$$

- Penambahan gaya sebesar 2.0 kN/m^2 yang didistribusikan keseluruh area *helipad* untuk beban lingkungan.

- Perhitungan beban angina (*wind load*) sesuai dengan persamaan II.5:

$$W = 0,5 \cdot \rho \cdot v_w^2 \cdot A \cdot 10^{-3} \quad (II.5)$$

3. Load Cases 3

Kondisi normal pendaratan helikopter, dan dapat dihitung menggunakan persamaan II. 6:

$$P = 0,75 \cdot G \quad (II.6)$$

- W_{St} , dengan $v_w = 25 \text{ m/s}$

- Penambahan gaya sebesar 0.5 kN/m^2 yang didistribusikan keseluruh area *helipad* untuk beban lingkungan.

4. Load Cases 4

Kondisi darurat dalam pendaratan helikopter, dan dapat dihitung menggunakan persamaan II. 7 :

$$P = 1,25 \cdot G \quad (II.7)$$

- W_{St} , dengan $v_w = 25 \text{ m/s}$

- Penambahan gaya sebesar 0.5 kN/m^2 yang didistribusikan keseluruh area *helipad* untuk beban lingkungan.

Dalam analisa tugas akhir ini menggunakan perhitungan pembebanan pada *Load Cases* 3, dikarenakan *Load Cases* 3 merupakan kondisi normal helikopter mendarat.

II.1.3. Metode Elemen Hingga

Elemen hingga merupakan salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matrix untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metode lainnya adalah metode analitik, untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Metode elemen hingga adalah suatu metode pemaparan bagaimana perjalanan

aksi hingga timbul reaksi dalam materi, atau metode untuk memperkirakan besar reaksi dan reaksi apa yang timbul dari materi tersebut. Penyelesaian Metode Elemen Hingga menghasilkan persamaan dari masalah yang dianalisa dalam sistem persamaan serentak yang harus diselesaikan. Dalam metode elemen hingga persamaan dari seluruh sistem dibentuk dari penggabungan persamaan elemen-elemennya. Untuk masalah struktur: penyelesaian yang didapat adalah deformasi (*displacement*) pada setiap titik (*nodes*) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran-besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*).

Pada intinya, metode ini adalah membagi-bagi suatu bangun geometri menjadi elemen-elemen yang jumlahnya tak terhingga. Elemen-elemen tersebut berupa garis, segitiga, segiempat baik 2 dimensi atau 3 dimensi. Pembagian elemen-elemen ini akan menghasilkan suatu struktur jaringan yang terdiri dari node dan elemen. Analisa menggunakan metode elemen hingga merupakan analisa pendekatan sehingga hasil yang didapatkan bukan hasil yang analitis/tepat, tapi analisa menggunakan metode elemen hingga memiliki batas toleransi hingga analisa bias dinyatakan valid.

Menurut Hoque (2016) Analisa Elemen Hingga dilakukan menggunakan model dari sebuah struktur yang terbagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Setiap elemen tersebut merupakan bentuk geometri yang lebih sederhana, dan dengan geomtri yang lebih sederhana maka proses analisa akan lebih mudah dilakukan. Analisa elemen hingga akan menghasilkan banyak persamaan yang kemudian perhitungannya dilakukan secara komputasi. Menurutya, tingkat keakuratan dalam menggunakan prosedur ini sangat rendah, meskipun demikian kesalahan perhitungan dapat berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah persamaan yang dihitung.

Analisa elemen hingga yang mennggunakan *software* pada umumnya terdiri atas tiga proses utama yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor*. Dan dijelaskan sebagai berikut:

1. *Pre-processor* adalah tahap awal dalam proses analisa struktur dimana dilakukan persiapan data model dan dalam proses ini struktur dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang berhingga yang disebut dengan pembuatan *mesh*. Kemudian kondisi batas diaplikasikan kedalam struktur yang telah terbagi menjadi elemen-elemen kecil (*meshing*) untuk menentukan derajat kebebasan dari struktur yang dianalisa.
2. *Solver* adalah tahap perhitungan dalam proses analisa struktur. Kondisi batas dan beban yang telah diaplikasikan pada model akan dihitung menggunakan persamaan elemen hingga.

3. *Post-processor* adalah tahap terakhir dari analisa struktur yang menampilkan output dari perhitungan pada tahap *solver* kedalam bentuk grafis sesuai dengan interpretasi yang dipilih.

Dalam penelitian ini jenis/tingkat model elemen hingga yang digunakan adalah *local structure model*. Pada tugas akhir ini, ada beberapa hal-hal perlu diperhatikan dalam suatu analisa menggunakan elemen hingga yang dapat memengaruhi hasil analisa yang diharapkan

1. Pemilihan Tipe Elemen

Pemilihan tipe elemen diutamakan bergantung pada tujuan dari analisa. Karakteristik dari elemen yang dipilih harus dapat merepresentasikan secara akurat terkait kekakuan dari sebuah struktur dan tegangan yang akan dianalisa..

Tipe-tipe elemen yang umum digunakan dalam analisa elemen hingga adalah:

- a. *Truss elements* = elemen 1D dengan *axial stiffness*, tanpa *bending stiffness*,
- b. *Beam elements* = elemen 1D dengan *axial stiffness*, *shear*, *bending*, dan *torsional stiffness*,
- c. *Plane stress elements* = elemen 2D dengan *membrane stiffness*, tanpa *bending stiffness*,
- d. *Plate and shell elements* = elemen 2D dengan *membrane*, *bending*, dan *torsional stiffness*,
- e. *Solid elements* = elemen 3D,
- f. *Boundary and spring elements*.

2. Meshing

Meshing atau *mesh generation* merupakan proses pembuatan elemen berbentuk poligonal atau polihedral yang mendekati domain geometris model. Dalam meshing model dibagi menjadi beberapa elemen dengan ukuran lebih kecil dari ukuran awal model. Meshing adalah tahapan penting dalam analisa elemen hingga untuk perhitungan numeric (Houqe, 2016). Berdasarkan pertemuan antar elemen, tipe meshing dibagi menjadi dua tipe yaitu:

a. *Structured Mesh*

Structured mesh adalah tipe meshing yang dapat dilihat dari interior node meshing tersebut yang memiliki jumlah elemen yang sama pada titik pertemuan antar elemennya. Tipe meshing ini biasanya berbentuk quad atau hexagonal.

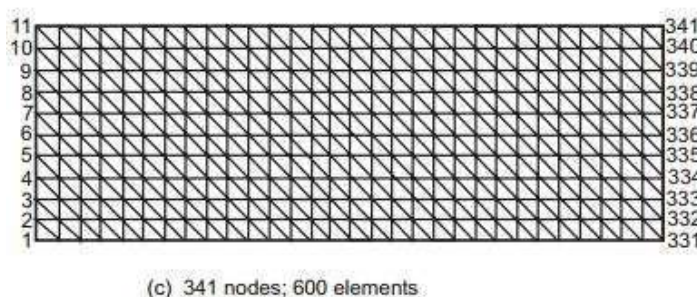
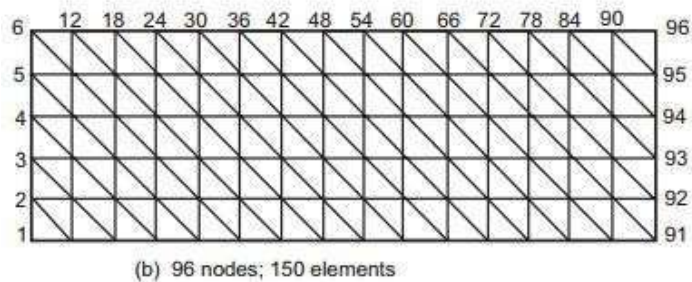
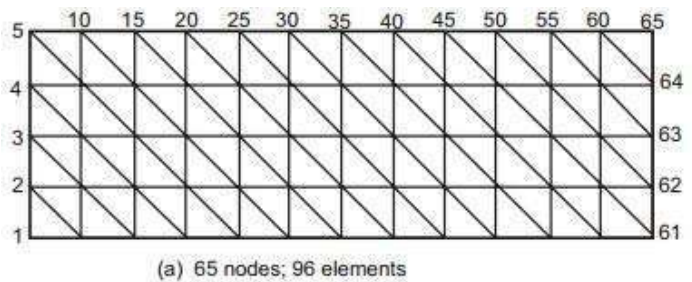
b. *Unstructured Mesh*

Unstructured Mesh biasanya digunakan untuk meshing model berbentuk irregular. Tipe meshing ini biasanya berbentuk tetrahedral atau triangle.

II.1.4. Konvergensi

Keakuratan proses analisa elemen hingga berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah elemen yang digunakan, dilakukan pengurangan ukuran elemen untuk memperbanyak jumlah elemen seperti terlihat pada Gambar II.2. Namun peningkatan jumlah elemen yang digunakan juga berpengaruh terhadap jumlah waktu dan biaya yang dibutuhkan selama proses analisa (Owen & Paik, 2010). Pada banyak kasus, permasalahan ini diselesaikan melalui proses gradasi terhadap ukuran elemen untuk memperoleh hasil yang lebih mendetail pada area struktur dimana terjadi konsentrasi tegangan akibat adanya bukaan atau potongan tertentu di sekitar beban yang diaplikasikan.

Dalam Gambar II.2 terlihat bahwa seiring dengan berkurangnya ukuran elemen, maka jumlah elemen yang terbentuk akan semakin banyak. Pada Gambar II.2 (a) model dibagi menjadi 96 elemen, Gambar II.2 (b) model dibagi menjadi 250 elemen, dan Gambar II.2 (c) model dibagi menjadi 600 elemen

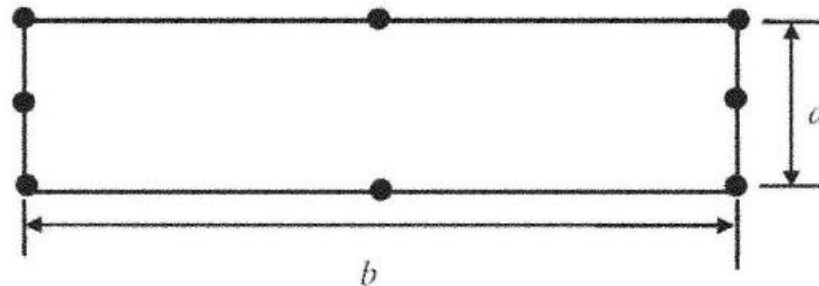


Sumber: Owen & Paik, 2010

Gambar II.2 Pengurangan Ukuran Elemen

Selain dipengaruhi oleh jumlah elemen, akurasi solusi analisa elemen hingga (FEA) juga dipengaruhi oleh kualitas mesh yang digunakan dalam model FEA. Salah satu parameter

yang digunakan untuk menilai kualitas mesh adalah aspect ratio. Untuk elemen quadrilateral, aspect ratio didefinisikan sebagai perbandingan b/a sebagaimana ditunjukkan pada Gambar II.3.



Sumber: Liu & Queck, 2003
Gambar II.3 Aspek Rasio Ukuran Elemen

Gambar di atas juga menunjukkan rekomendasi nilai aspect ratio dalam analisa tegangan dan deformasi komponen. Beberapa penulis lain merekomendasikan nilai aspect ratio antara 1 – 5 atau 1 – 10. Untuk analisa tegangan penggunaan ukuran elemen pada model konstruksi tidak boleh lebih memiliki aspek rasio ukuran elemen besar dari 3 sesuai dengan persamaan II.8 (Mottram & Shaw, 1996).

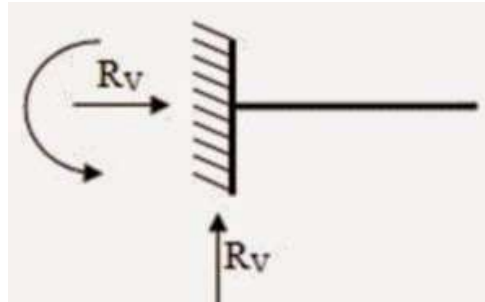
$$\text{Aspek Ratio} = \frac{b}{a} \leq 3 \quad (\text{II.8})$$

II.1.5. Tipe Tumpuan

Sifat-sifat gaya reaksi yang timbul pada suatu benda yang mendapat beban tergantung bagaimana benda tersebut ditumpu atau bagaimana benda tersebut disambung dengan benda lain (Hibeller, 1997). Ada beberapa pengondisian tumpuan pada sebuah struktur. Jenis tumpuan menurut Meriam (1986) adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*) dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*).

a. Tumpuan jepit

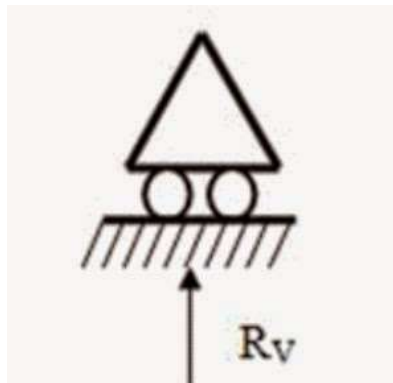
Tumpuan jepit merupakan tumpuan yang dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen. Tumpuan ini juga tidak memiliki nilai perpindahan. Terlihat pada Gambar II.4.



Sumber: Meriam & Kraige, 1986
Gambar II.4 Tumpuan Jepit

b. Tumpuan roda

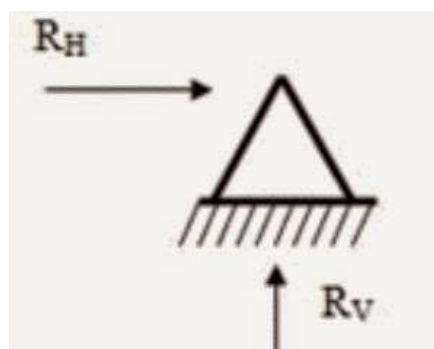
Tumpuan roda adalah tumpuan yang hanya dapat menerima gaya dalam arah tegak lurus roda dan tidak mampu menahan momen. Hanya arah tegak lurus dengan roda yang tidak memiliki perpindahan. Seperti Gambar II.5.



Sumber: Meriam & Kraige, 1986
Gambar II.5 Tumpuan Roll

c. Tumpuan engsel

Tumpuan sendi merupakan tumpuan yang dapat menerima gaya dari segala arah tapi tidak mampu menahan momen. Dan arah gerak perpindahan hanya searah dengan tumpuan dan tegak lurus dengan tumpuan. Seperti pada Gambar II.6.



Sumber: Meriam & Kraige, 1986
Gambar II.6 Tumpuan Engsel

II.1.6. Tegangan

Gaya internal yang bekerja pada sebuah potongan dengan luasan yang sangat kecil akan bervariasi baik besarnya maupun arahnya. Pada umumnya gaya-gaya tersebut berubah-ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya berarah miring pada bidang perpotongan. Dalam praktek keteknikan intensitas gaya diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan. Dalam praktek, kata tegangan sering memberi dua pengertian:

1. Gaya per satuan luas atau intensitas tegangan, yang umumnya ditunjukkan sebagai tegangan satuan.
2. Gaya dalam total suatu batang tunggal yang umumnya dikatakan sebagai tegangan total.

Secara sederhana tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada satu satuan luas permukaan benda yang dikenakan oleh gaya. Secara matematis definisi tegangan dapat dituliskan sesuai dengan persamaan II.8 (Timoshenko, 1980):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (\text{II.9})$$

Tegangan dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*). Tegangan dapat diketahui dengan melakukan pengujian, dan besarnya kekuatan sangat tergantung pada jenis material yang diuji. Bahan yang sering dan umum digunakan adalah baja. Tegangan dibagi dua macam berdasarkan tegangan yang terjadi pada suatu material yaitu :

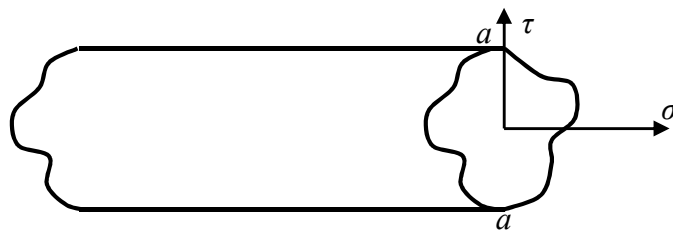
1. Tegangan Normal

Tegangan normal adalah intensitas gaya yang bekerja normal (tegak lurus) terhadap irisan yang mengalami tegangan. Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang yang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan batang penampang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar pada sumbu-sumbu tersebut.

2. Tegangan Geser

Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar dengan bidang pembebanan. Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi.

Penerapan tegangan normal dapat dilihat pada Gambar II.7. Dimana arah tegak lurus dengan irisan bekerja tegangan normal (σ) dan arah sejajar dengan bidang pembebanan bekerja tegangan geser (τ).



Sumber: Beer, 1981

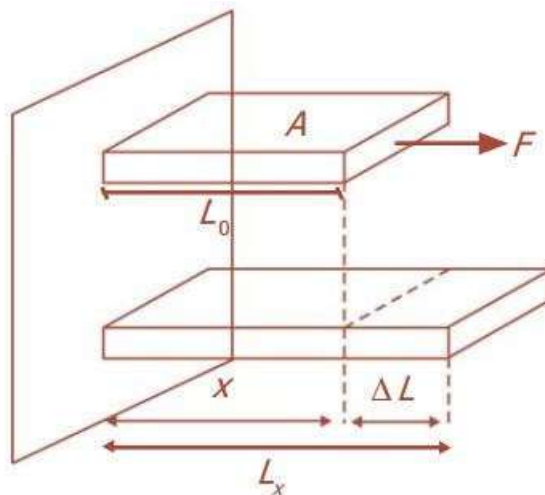
Gambar II.7 Komponen Tegangan Normal dan Tegangan Geser

II.1.7. Regangan

Regangan adalah perubahan panjang material dibagi panjang awal akibat gaya tarik ataupun gaya tekan pada material. Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier dan akan berakhir sampai pada titik mulur. Untuk memperoleh satuan deformasi atau regangan adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang mulamula dari suatu specimen. Regangan dapat dirumuskan dengan persamaan II.9 (Timoshenko, 1980):

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (\text{II.10})$$

$$\Delta L = L_1 - L \quad (\text{II.11})$$



Sumber: Haryadi, 2008

Gambar II.8 Petambahan Panjang Material

Dapat dilihat pada Gambar II.8 terjadi pertambahan panjang material sebesar ΔL . Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai batasan fase sifat plastis. Regangan dibagi dua macam berdasarkan regangan yang terjadi pada suatu material yaitu:

1. Regangan Normal

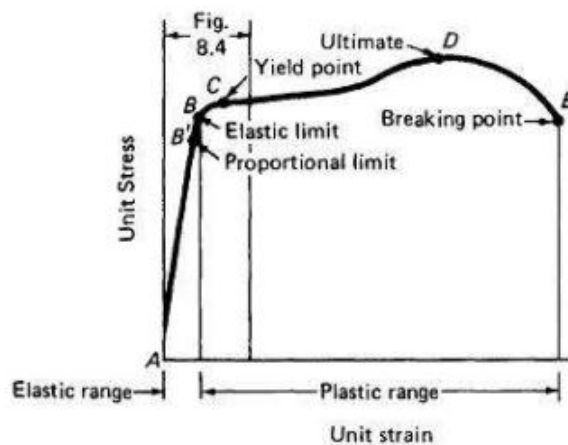
Regangan yang terjadi diakibatkan elemen batang yang menerima beban tarik sebesar P , yang mengakibatkan terjadi pertambahan panjang pada elemen batang. Seperti halnya dalam penandaan arah gaya, regangan juga diberi tanda positif jika terjadi gaya tarik yang menyebabkan bertambahnya dimensi batang, sebaliknya digunakan tanda negatif jika diberikan gaya tekan yang menyebabkan berkurangnya dimensi batang dibandingkan ukuran semula.

2. Regangan Geser

Regangan ini timbul akibat bekerjanya gaya geser pada elemen batang. Regangan geser = $\tan \gamma = \gamma$, karena nilai γ yang sangat kecil maka digunakan $= \frac{\Delta L}{L}$

II.1.8. Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan tegangan dan regangan dapat ditunjukkan dalam Gambar II.9. Rasio antara tegangan dan regangan normal dapat disebut *modulus young* atau modulus elastisitas, merupakan tangen dari sudut yang terbentuk antara garis hubungan tegangan dan regangan dengan garis sumbu regangan dan dinotasikan sesuai dengan persamaan II.12 (Timoshenko, 1980):



Sumber: Timoshenko, 1980
Gambar II.9 Hubungan Regangan dan Tegangan

$$E = \tan \theta = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (\text{II.12})$$

Rasio antara tegangan dan regangan geser disebut modulus geser atau modulus kekakuan, dinotasikan sesuai dengan persamaan II.13 (Timoshenko, 1980) :

$$E_{geser} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (\text{II.13})$$

II.1.9. Deformasi

Deformasi atau perubahan bentuk terjadi apabila bahan dikenai gaya. Selama proses deformasi berlangsung, material menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Sebesar apapun gaya yang bekerja pada material, material akan mengalami perubahan bentuk dan dimensi. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban diadukan, maka material akan kembali seperti ukuran dan bentuk semula, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas (Hibeller, 1997). Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah.

Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu, sehingga material akan mengalami deformasi plastis. Pada awal pembebanan di bawah kekuatan luluh, material akan kembali ke bentuk semula. Hal ini dikarenakan adanya sifat elastis pada bahan. Peningkatan beban melebihi kekuatan luluh (*yield point*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan aliran deformasi plastis sehingga plat tidak akan kembali ke bentuk semula.

II.1.10. Tegangan *Von Mises*

Tegangan *von mises* merupakan kombinasi dari semua komponen tegangan, yang terdiri dari tegangan normal pada tiga sumbu dan tegangan geser, yang bereaksi pada tempat tertentu. Tegangan *von mises* cocok digunakan untuk material *ductile*. Tegangan *von mises* yang menghasilkan nilai di atas *yield strength* material maka material tersebut akan memberikan respon kekuatan sebesar nilai *yield strength* material itu sendiri. Apabila tegangan *von mises* menghasilkan nilai melebihi *ultimate strength* maka material akan pecah (Hoque, 2016). Adapun rumus yang digunakan untuk mencari nilai tegangan *von mises* sesuai dengan persamaan II.14 :

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad (II.14)$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (II.15)$$

$$I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 \quad (II.16)$$

II.1.11. Tegangan Izin Maksimum

Untuk mencegah terjadinya kegagalan pada konstruksi maka diperlukannya batasan tertentu dalam proses analisa kekuatan struktur. Tegangan izin dihitung berdasarkan kuat Tarik material yang digunakan dalam proses pemodelan. Tegangan izin maksimum yang diperbolehkan pada konstruksi kapal ditentukan oleh peraturan badan klasifikasi dimana kapal tersebut terdaftar. Setiap badan klasifikasi memiliki nilai tegangan izin maksimum yang berbeda-beda, hal tersebut dapat terjadi karena untuk tegangan izin maksimum konstruksi harus memiliki faktor keamanan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan pada konstruksi. Dalam lingkup Tugas Akhir ini, peraturan yang digunakan sebagai acuan adalah Biro Klasifikasi Indonesia atau BKI (2017)

Dalam peraturan BKI (2017) dijelaskan bahwa tegangan izin maksimum dari struktur *helideck* dibagi per komponen struktur dari *helideck* tersebut. Tegangan izin *helideck* dapat dihitung menggunakan persamaan II. 17 dan untuk *Structural member factor* dapat dilihat pada Tabel II.1:

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{235}{K \cdot \gamma_f} \quad (\text{II.17})$$

Tabel II.1 *Structural member factor*

No	<i>Structural element</i>	γ_f		
		LC 1, LC 2	LC 3	LC 4
1	<i>Stiffeners (deck beam)</i>	1.25	1.10	1.00
2	<i>main girders (deck girder)</i>	1.45	1.45	1.10
3	<i>load-bearing structure (pillar system)</i>	1.70	2.00	1.20

II.1.12. Faktor Keamanan

Faktor keamanan adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi keamanan dari suatu bagian untuk menghindari terjadinya keruntuhan struktur (*structure-failure*) maka kekuatan sebenarnya dari suatu bahan haruslah melebihi kekuatan yang dibutuhkan. Perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan disebut faktor keamanan (*factor of safety*) n yang dirumuskan sesuai dengan persamaan II.18 :

$$\text{Faktor keamanan } n = \frac{\text{Tegangan ultimate}}{\text{Tegangan ijin}} \quad (\text{II.18})$$

Faktor keamanan merupakan faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Untuk desain bagian-bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan izin (*allowable stress*) dibuat benar-benar lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian statis. Hal ini penting untuk berbagai pertimbangan. Besar gaya yang dapat bekerja pada bangunan yang dirancang jarang diketahui secara pasti. Karena tegangan dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan izin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diizinkan dan *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang. (Popov, 1978).

II.2. Tinjauan Pustaka

Analisa struktur pada tugas akhir ini juga meninjau beberapa penelitian yang pernah dilakukan dan berkaitan dengan tugas akhir ini.

II.2.1. Konstruksi *Helicopter Deck*

Helicopter Deck atau disingkat *Helideck* adalah geladak kapal atau struktur lepas pantai yang dibangun bertujuan untuk pendaratan atau lepas landas helikopter seperti terlihat pada Gambar II.9. Konstruksi *Helideck* merupakan konfigurasi struktur berupa susunan panel berpenegar yang terdiri dari deck, sekat memanjang, sekat melintang. Pada konstruksi helikopter *deck* ini di gunakan system konstruksi campuran, dimana beban yang di terima oleh rangka sistem konstruksi memanjang kemudian di distribusikan pada hubungan kaku melintang kapal dengan bantuan balok memanjang (Hidayatulloh, 2017).



Sumber: Hidayatulloh, 2017

Gambar II.10 Salah Satu Contoh Kapal yang Memiliki *Helideck*

II.2.2. *Helipad*

Helipad adalah suatu area landasan pendaratan untuk helikopter. Suatu *helipad* dibuat dengan mengeraskan suatu permukaan yang jauh dari rintangan sehingga helikopter dapat mendarat. *Helipad* pada umumnya ditandai dengan suatu lingkaran atau suatu huruf “H” agar kelihatan dari udara. Dalam merencanakan *helipad* yang perlu diperhatikan yaitu tipe helikopter yang menyangkut dengan berat helikopter dengan bahan bakar penuh dan diameter rotor, kondisi lingkungan, dan tanda yang dirancang untuk visual pilot (Sutehno, 2014).

II.2.3. Kekuatan Konstruksi

- a. Analisa Tegangan Pada Geladak Penumpang Akibat Modifikasi Kapal Penumpang Menjadi Kapal Penumpang Kendaraan.

Penelitian ini menganalisa tegangan yang terjadi pada geladak penumpang yang mengalami modifikasi akibat perubahan muatan menjadi kendaraan. Pemodelan struktur geladak menggunakan finite element software. Beban yang bekerja pada geladak ini yaitu beban dek yang berasal dari kendaraan-kendaraan diatas geladak dengan tiga rencana susunan kendaraan. Kemudian dilakukan pemodelan pada perangkat lunak untuk di analisa. Hasil analisa menunjukan variasi nilai tegangan maksimum lebih kecil dibandingkan dengan tegangan ijin Biro Klasifikasi Indonesia sebesar 175 N/mm² maupun dengan kekuatan luluh (yield strength) sebesar 235 N/mm². Sehingga kekuatan struktur geladak penumpang mampu menerima pembebanan kendaraan sesuai dengan 3 rencana susunan kendaraan (Haryanto et al, 2017).

- b. Analisis Kekuatan Konstruksi Sekat Melintang Kapal Tanker dengan Metode Elemen Hingga

Penelitian ini melakukan analisis konstruksi sekat dengan mengkonversi *corrugated bulkhead* ke *transverse bulkhead* dengan modulus penampang dan panjang elemen yang sama. *Corrugated bulkhead* divariasikan pada sudut yang berbeda dan *transverse bulkhead* berupa penguat horizontal atau penumpu. Dari hasil analisis didapatkan nilai, *corrugated bulkhead* mempunyai kekuatan lebih besar serta berat konstruksi yang lebih ringan dibandingkan dengan *transverse bulkhead*. Tegangan terkecil berada pada *corrugated bulkhead* sudut 450 yaitu 76.6 N/mm² dan tegangan terbesar pada *transverse bulkhead* tanpa penumpu yaitu 145 N/mm² (Ardianus et al, 2017).

- c. Analisa Kekuatan *Swash Bulkhead* Sebagai *Longitudinal Bulkhead* Ruang Muat Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga.

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan nilai kekuatan *swash bulkhead* dengan *longitudinal bulkhead* kedua bulkhead. Pengecekan kekuatan konstruksi kedua sekat dilakukan dengan analisis metode elemen hingga. *Longitudinal swash bulkhead* dimodelkan dengan 4 diameter lubang yang berbeda yaitu diameter 200; 300; 400; 500 mm dan 3 total luasan yang sama yaitu 6%, 8%, dan 10% dari total luas sekat keseluruhan. Sehingga dari hasil analisa tersebut didapatkan model *longitudinal swash bulkhead* paling optimal yaitu longitudinal swash bulkhead dengan variasi diameter 300 mm pada total luasan 8% (Haque et al, 2017).

- d. Analisa Kekuatan Sekat Bergelombang Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga.

Pada penelitian ini dilakukan analisis kekuatan sekat bergelombang dengan konstruksi tambahan berupa *lower stool* dan diafragma sekat untuk mendapatkan desain yang optimum. Proses analisis dilakukan menggunakan model konstruksi sekat bergelombang yang dianalisis menggunakan metode elemen hingga. Dari proses analisis didapatkan nilai tegangan, deformasi, berat, dan volume konstruksi sekat bergelombang. Nilai tegangan terkecil terjadi pada tinggi *lower stool* 1790 mm, sedangkan ketebalan diafragma sekat tidak berpengaruh pada nilai tegangan. Nilai deformasi terkecil terjadi pada tinggi *lower stool* 1790 mm, dan tebal diafragma sekat 14 mm. Konstruksi yang memiliki berat paling rendah memiliki ukuran tinggi *lower stool* 895 mm, dan tebal diafragma 11 mm (Rabbani et al, 2017).

- e. Analisa Kekuatan Konstruksi *Wing Tank* Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui profil mana yang paling efektif digunakan sebagai penegar pelat ditinjau dari besarnya tegangan yang terjadi dan berat konstruksinya. Variasi penegar yang digunakan pada penelitian ini adalah *bulb plate*, *unequal leg angles*, dan *equal leg angles*. Dari hasil analisa yang didapat maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *bulb plate* merupakan profil yang paling efektif dengan tegangan kecil dan berat konstruksi kecil. Hasil dari penelitian ini dapat diaplikasikan pada dunia industri sebagai acuan dalam memilih profil penegar yang paling efektif (Sanjaya et al, 2017).

BAB III

METODOLOGI

III.1. Studi Literatur

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisa kekuatan *helideck* kapal Bakamla sehingga membutuhkan referensi yang dapat membantu proses analisa tersebut. Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan berbagai referensi yang dibutuhkan dalam proses analisa kekuatan *helideck* kapal. Studi literatur terbagi kedalam dua bagian, yaitu tinjauan pustaka dan dasar teori. Tinjauan pustaka digunakan untuk memperoleh pengalaman dari tugas akhir yang sudah dilakukan sebelumnya. Hal ini dapat berupa metode serta langkah penyelesaian masalah dan informasi yang dibutuhkan. Dasar teori berisikan pengertian dan acuan dari variabel yang digunakan dalam tugas akhir ini.

III.2. Pengumpulan Data

Pada proses ini dilakukan pengumpulan seluruh data yang berkaitan dengan konstruksi *helideck* kapal Bakamla yang akan dianalisa dalam Tugas Akhir ini. Data yang berkaitan dengan konstruksi *helideck* kapal Bakamla, data yang didapatkan berupa data ukuran utama kapal, gambar rencana umum kapal, gambar konstruksi kapal, dan gambar penampang melintang.

III.2.1. Ukuran Utama Kapal

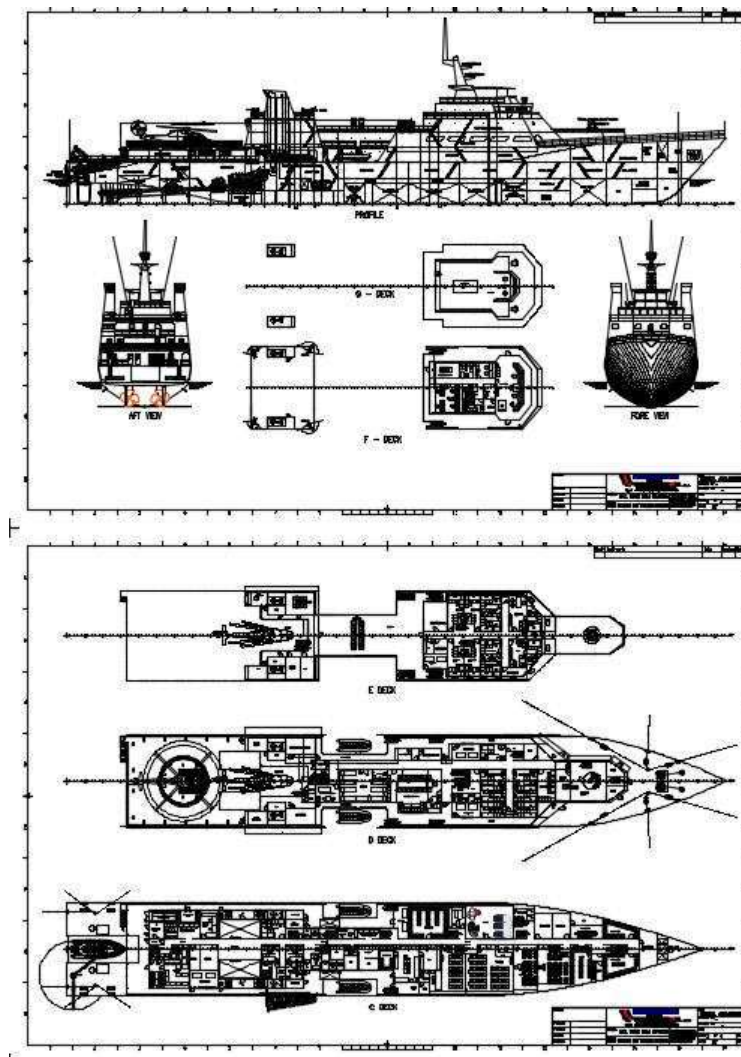
Kapal yang digunakan dalam proses analisa pada Tugas Akhir ini adalah kapal Bakamla 110 m. Data ukuran utama kapal diambil dari sebuah sumber yang memiliki data kapal yang dibutuhkan dalam lingkup pengerjaan Tugas Akhir ini. Dengan ukuran utama sebagai berikut:

- | | |
|--|------------|
| a. <i>Length Overall</i> (LOA) | : 110 m |
| b. <i>Length Between Perpendicular</i> (LBP) | : 103.31 m |
| c. Lebar <i>Moulded</i> (B) | : 15.50 m |
| d. Tinggi <i>Moulded</i> (D) | : 6.90 m |
| e. <i>Draft</i> (T) | : 4.00 m |

- f. Kecepatan Dinas (V_s) : 15 knots
- g. *Displacement* (Δ) : 2450 ton

III.2.2. Rencana Umum

Gambar Rencana Umum kapal berguna untuk mengetahui gambaran secara garis besar tentang konstruksi kapal keseluruhan serta konstruksi *helideck* kapal. Dalam gambar rencana umum terlihat letak *helideck*, ukuran *helideck* dan konstruksi lain di sekitar *helideck*. Gambar Rencana Umum kapal Bakamla yang digunakan sebagai acuan dapat dilihat pada Gambar III.1.

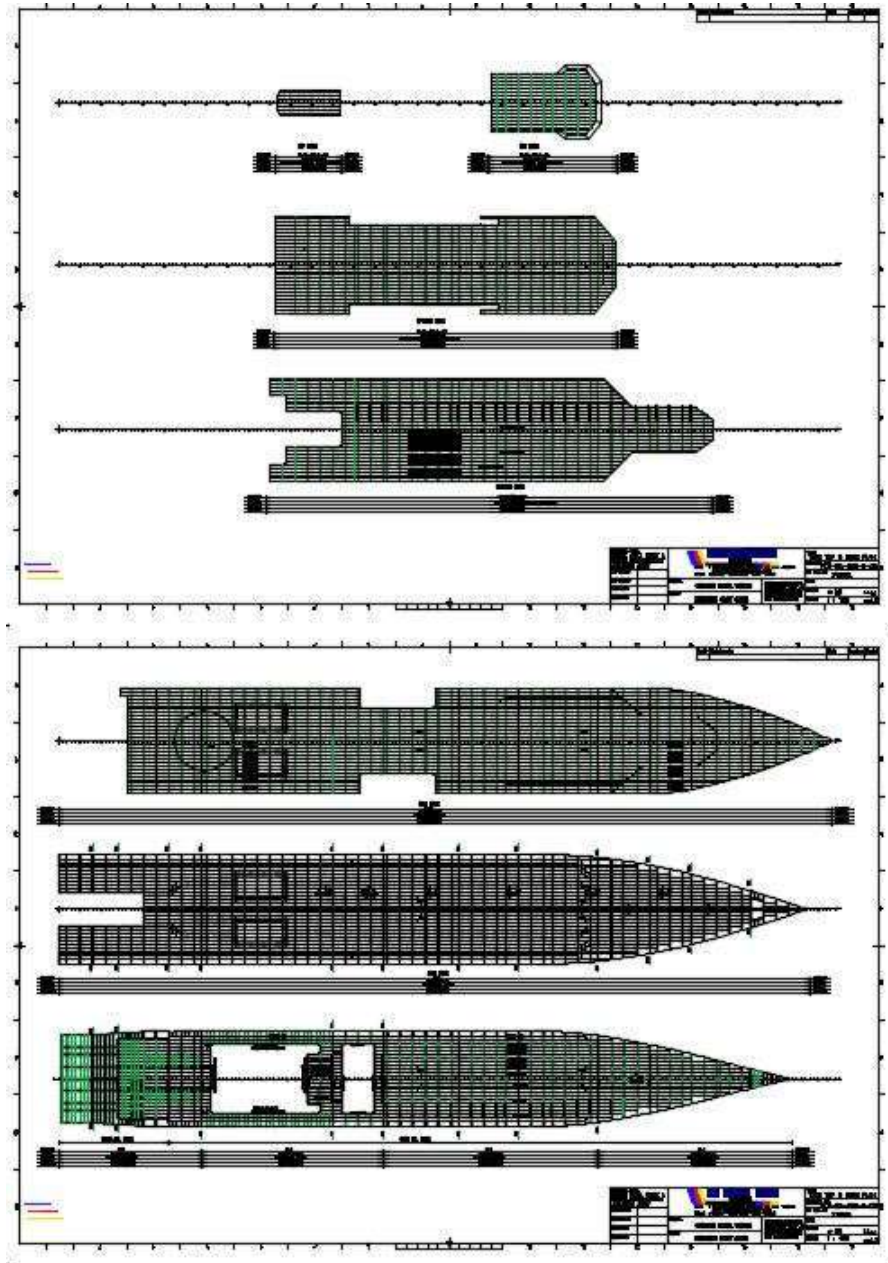


Gambar III.1 Rencana Umum Kapal Bakamla 110 m

Pada Gambar III.1 dapat dilihat bahwa kapal Bakamla memiliki satu buah *helipad* yang terletak di bagian buritan kapal dan *helipad* berada pada bagian *main deck* kapal. Diameter dari lingkaran *helipad* berukuran 8.40 m.

III.2.3. Konstruksi kapal

Gambar konstruksi kapal menggambarkan konstruksi secara keseluruhan yang terdapat di dalam sebuah kapal. Pada gambar tersebut terdapat informasi mengenai ukuran profil dan ukuran pelat yang digunakan pada kapal Bakamla. Gambar konstruksi kapal pada Gambar III.2



Gambar III.2 Konstruksi Kapal Bakamla

Dari data gambar konstruksi kapal diatas didapat konstruksi *helideck* terletak pada gading nomor 01 sampai gading nomor 65. Ukuran pelat *helideck* berbeda dengan ukuran pelat *helipad* dimana ukuran pelat *helipad* lebih tebal dari ukuran pelat *helideck*. Terlihat konstruksi

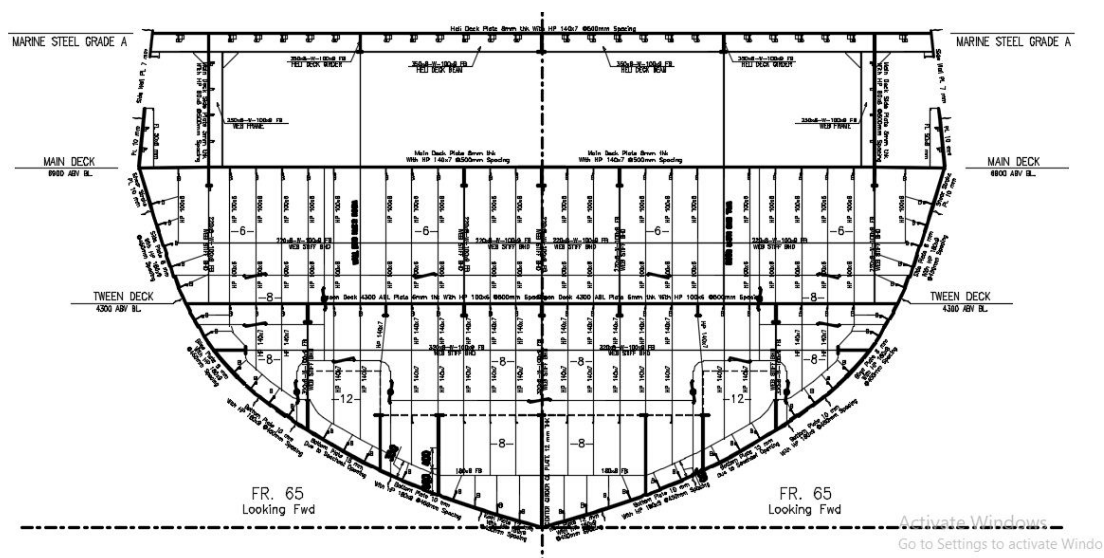
helideck terdapat gading besar, pembujur geladak, dan penumpu. Dimensi konstruksi *helideck* dirangkum dalam Tabel III.1.

Tabel III.1 Rekapitulasi Dimensi konstruksi *helideck*

No	Komponen Konstruksi	Dimensi
1	Pelat <i>helideck</i>	10 mm
2	Pelat <i>helipad</i>	12 mm
3	<i>Web frame</i>	350x8-W-100x9 FB
4	<i>Deck Longitudinal</i>	BP 140x7
5	<i>Center Girder</i>	350x8-W-100x9 FB
6	<i>Side Girder</i>	350x8-W-100x9 FB

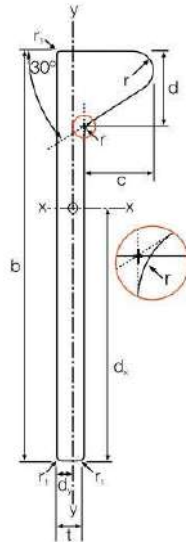
III.2.4. Gambar Penampang Melintang Kapal

Gambar penampang melintang kapal diperlukan untuk melihat bagaimana detail sistem konstruksi yang digunakan pada kapal ini, khususnya pada konstruksi *helideck* dan *maindeck* yang digunakan sebagai studi kasus penelitian ini. Pada Gambar III.3 terlihat jelas bahwa sistem konstruksi yang digunakan pada kapal adalah sistem konstruksi memanjang dan penegar yang terpasang adalah penegar dengan profil *bulb*.



Gambar III.3 Penampang Melintang Kapal Bakamla

Pada Gambar II.3 menunjukkan ukuran profil penegar yang digunakan sebagai acuan dalam proses pemodelan *helideck*. Berdasarkan Gambar III.3 menunjukkan pada konstruksi *helideck* terdapat tiga ukuran profil *bulb* yang berbeda. Daftar profil yang terdapat dikonstruksi *helideck* dapat dilihat pada Tabel III.2 dan Gambar III.4 menunjukkan detail ukuran profil *bulb*.



Gambar III.4 Detail Profil *Bulb*

Tabel III.2 Profil *Bulb* pada Konstruksi *Helideck*

Tinggi $b(\text{mm})$	Tebal $t(\text{mm})$	Tinggi Bulb $c(\text{mm})$	Radius Bulb $r(\text{mm})$	Luas Permukaan $f(\text{mm}^2)$	Modulus Elastisitas $x-x(\text{mm}^3)$
80	6	14	4	6.21	8.1
100	7	15.5	4.5	8.74	14.5
140	7	19	5.5	12.43	29

Detail spesifikasi profil bulb di atas di ambil dari katalog profil **Corus** dan katalog profil **Laminorul** , dan sudah disesuaikan dengan kondisi fisik profil penegar yang terpasang.

III.2.5. Ukuran Helikopter

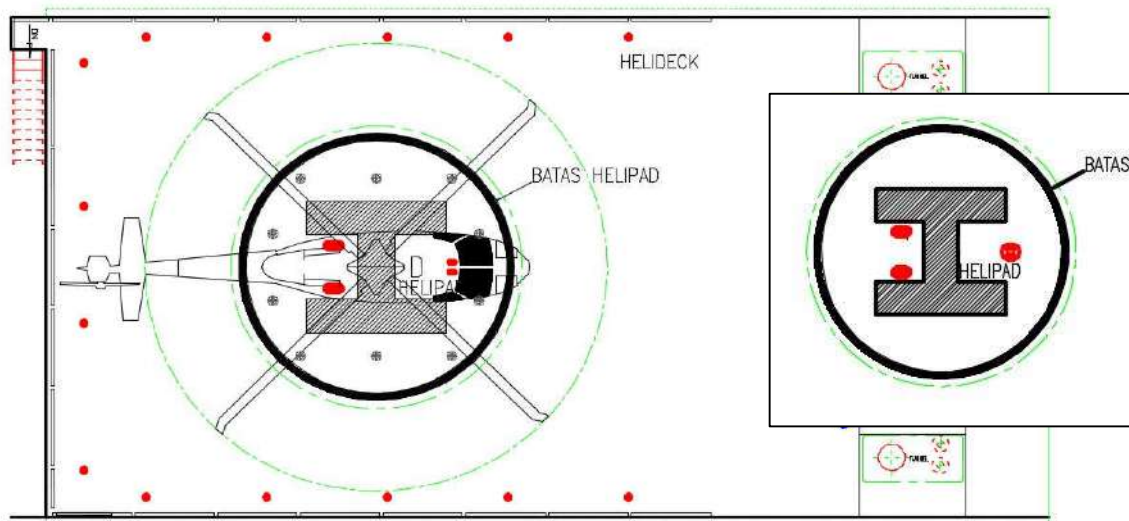
Dalam rencana umum kapal Bakamla 110 m dijelaskan bahwa helikopter yang digunakan memiliki berat sekitar 6 ton, sehingga dalam Tugas Akhir ini helikopter yang digunakan adalah Airbus H175. Data ukuran utamah helikopter diambil dari sebuah sumber

yang memiliki data kapal yang dibutuhkan dalam lingkup pengerjaan Tugas Akhir ini.. Ukuran utama helikopter adalah sebagai berikut:

- a. Berat Total : 7.8 Ton
- b. Panjang : 15.68 m
- c. Lebar : 2.85 m
- d. Tinggi : 5.34 m
- e. Diameter Baling baling Utama : 14.80 m
- f. Kapasitas : 2 Pilot + 16 Penumpang

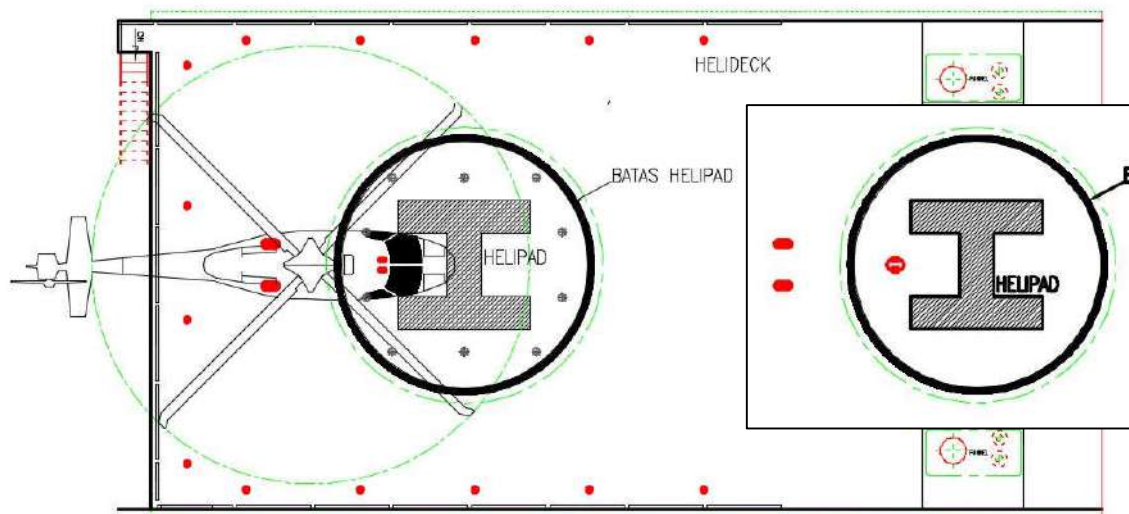
III.3. Penentuan Variasi

Variasi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah variasi pendaratan yang berpengaruh terhadap letak pembebanan yang diberikan pada model *helideck* yang dibuat. Variasi letak beban ditentukan dengan berdasarkan dari luasan dan letak dari lingkaran *landing area* helikopter (*helipad*). Variasi letak beban diperlukan untuk menganalisa pendaratan darurat helikopter yang bisa saja terjadi. Untuk variasi pembebanan *helideck* ditentukan sebanyak 4 macam. Seperti yang terlihat pada Gambar III.5 Sampai Gambar III.8. dan dijelaskan pada Tabel III.3.

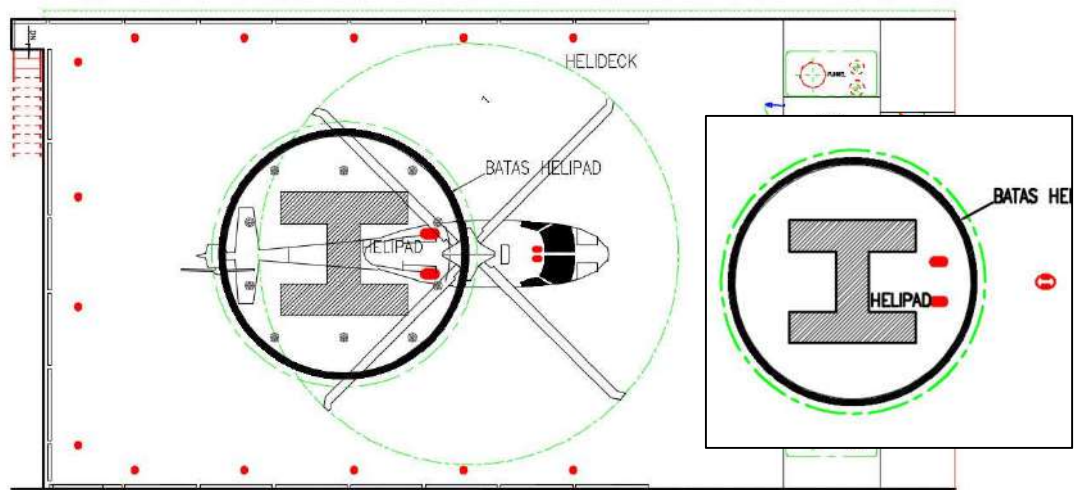


Gambar III.5 Kondisi 1

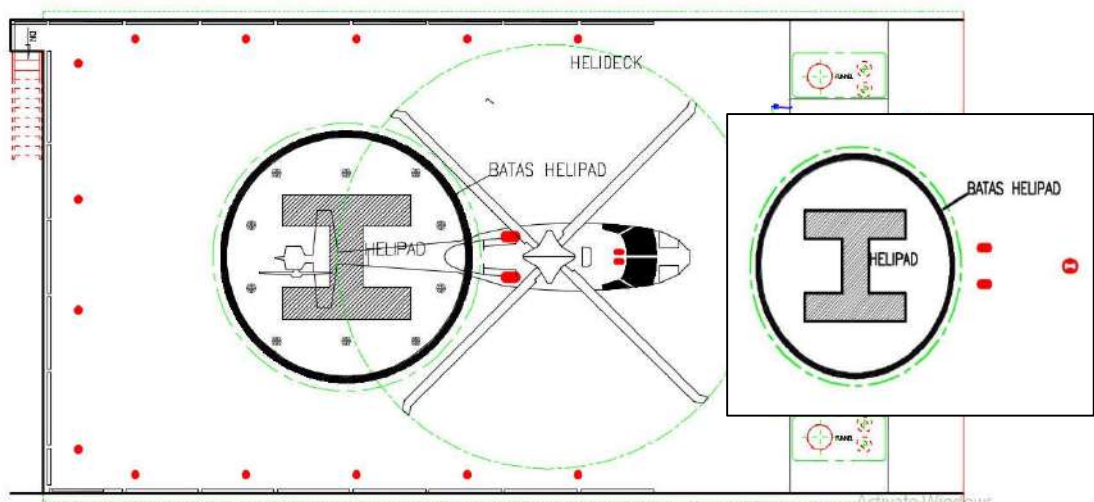
Activate Windows



Gambar III.6 Kondisi 2



Gambar III.7 Kondisi 3



Gambar III.8 Kondisi 4

Tabel III.3 Kondisi Model *Helideck*

No	Kondisi Pembebanan	Penjelasan
1	Kondisi 1	Semua roda berada di dalam lingkaran <i>helipad</i>
2	Kondisi 2	Satu roda (roda bagian depan) berada di dalam lingkaran <i>helipad</i> , dua roda (roda bagian belakang) berada diluar lingkaran <i>helipad</i>
3	Kondisi 3	Dua roda (roda bagian belakang) berada di dalam lingkaran <i>helipad</i> , dua roda (roda bagian depan) berada diluar lingkaran <i>helipad</i>
4	Kondisi 4	Semua roda berada diluar lingkaran <i>helipad</i>

III.4. Pemodelan *Helideck*

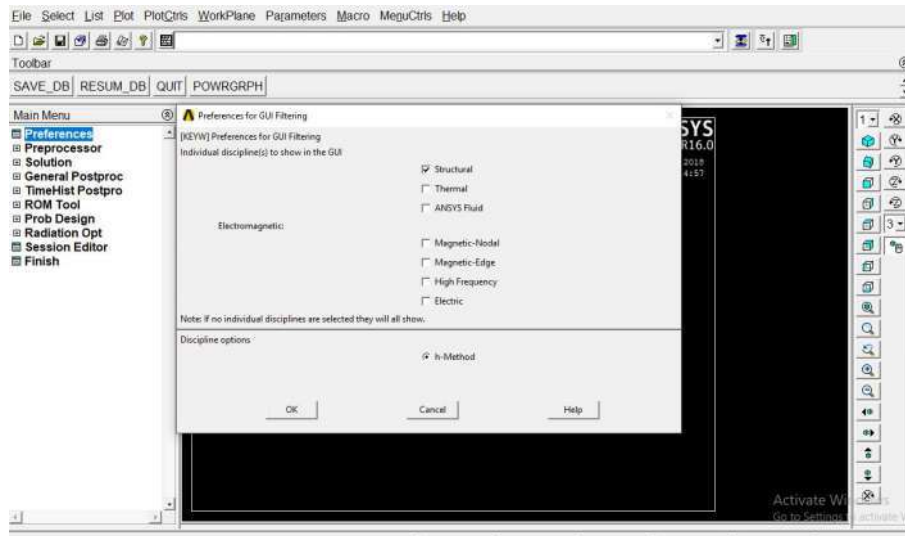
Pemodelan *Helideck* dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga. Penggunaan perangkat lunak berbasis elemen hingga akan memudahkan proses analisa struktur dengan menggunakan metode elemen hingga. Pemodelan menggunakan perangkat lunak memerlukan kapasitas perangkat yang memadai sehingga pembuatan model juga harus disesuaikan dengan kapasitas perangkat yang tersedia namun tidak mengurangi keakuratan model yang dibuat. Pembuatan model harus dibuat agar dapat mewakili kondisi sebenarnya sehingga proses analisa yang dilakukan dapat memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi yang dialami struktur.

III.4.1. Tahap *Pre-processor*

Tahap *pre-processor* merupakan proses utama dalam pembuatan model sekat. Dalam perangkat lunak berbasis elemen hingga ini, proses tersebut dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

a. Pemilihan tipe analisa

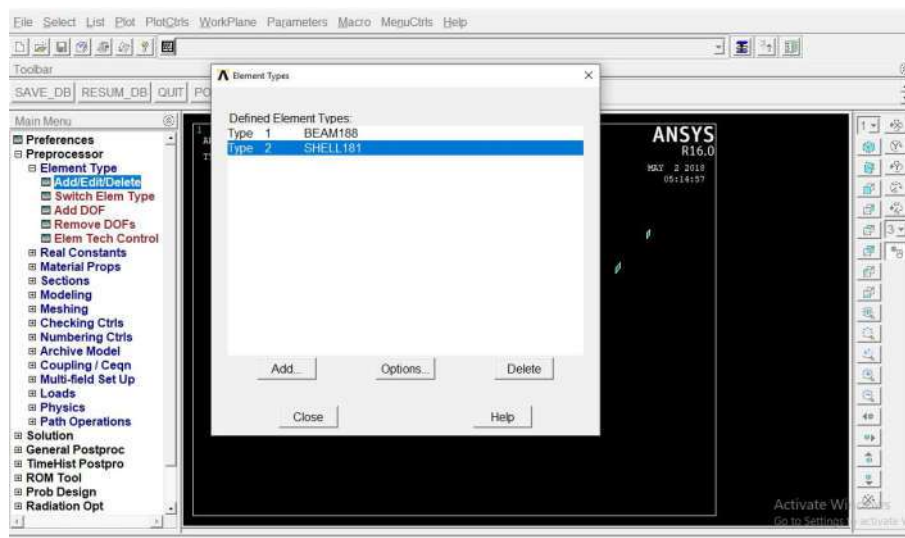
Beberapa pilihan analisa dalam perangkat lunak berbasis elemen hingga ini antara lain *structural*, *thermal*, *fluids*, dan *CFD* Seperti terlihat pada Gambar III.9. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini dipilih tipe analisa *structural*, yang terdapat pada **Main Menu > Preferences > Structural > OK.**



Gambar III.9 Pemilihan Tipe Analisa

b. Pemilihan dan penentuan tipe elemen

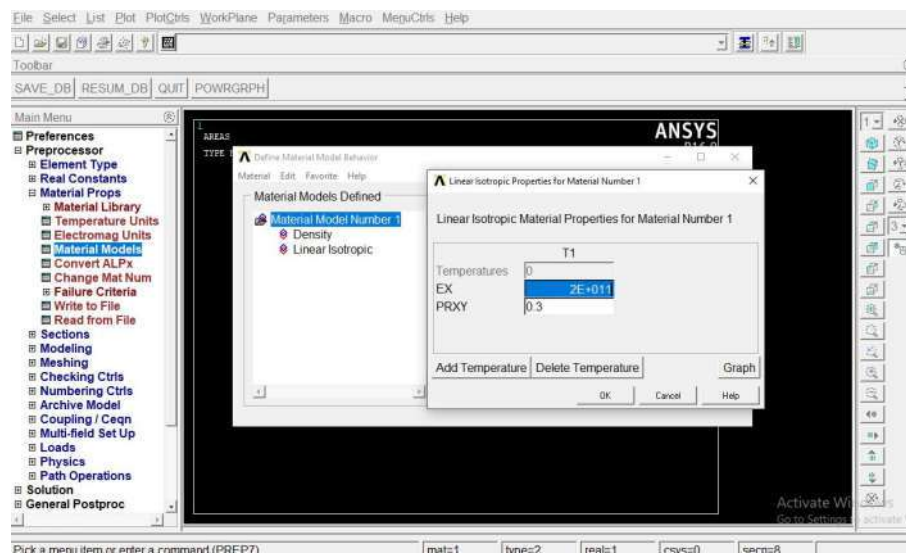
Tipe elemen yang dipilih disesuaikan dengan kebutuhan dalam pemodelan struktur. Dalam pemodelan *helideck* terdiri dari pelat dan profil-profil yang dimodelkan dalam bentuk 2D, maka dua tipe elemen yang dipilih, yaitu shell 281 dan beam 188. Tipe elemen beam 188 dipilih untuk pemodelan dengan geometri garis, sedangkan tipe elemen shell 281 digunakan untuk model dengan geometri luas. Pemodelan dengan dua tipe elemen berbeda dilakukan agar model dapat menggambarkan kondisi struktur sebenarnya. Proses penentuan elemen terdapat pada **Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete** seperti terlihat pada Gambar III.10.



Gambar III.10 Proses Penentuan Elemen

c. Penentuan *material properties*

Tahapan ini menentukan sifat material dari model yang dibuat, sifat material yang ditentukan berupa *material model behavior*, *modulus elastisitas*, *rasio Poisson*, dan massa jenis material. Material model behavior dipilih untuk menentukan respon material dari model. Sifat material ditentukan berdasarkan sifat material dari baja yang digunakan pada kapal Bakamla 110 m yaitu baja A36, dengan *Modulus Elastisitas* atau *Modulus Young* (EX) sebesar 200 GPa dan *Poisson Rasio* (PRXY) sebesar 0.3 serta memiliki massa jenis material sebesar 7850 kg/m³. Sifat material yang dipilih pada simulasi ini adalah isotropik yaitu material dianggap seragam di seluruh arah dan bagian. Menu tersebut terdapat pada **Preprocessor > Material Props > Material Models** sehingga akan muncul window seperti Gambar III.11.

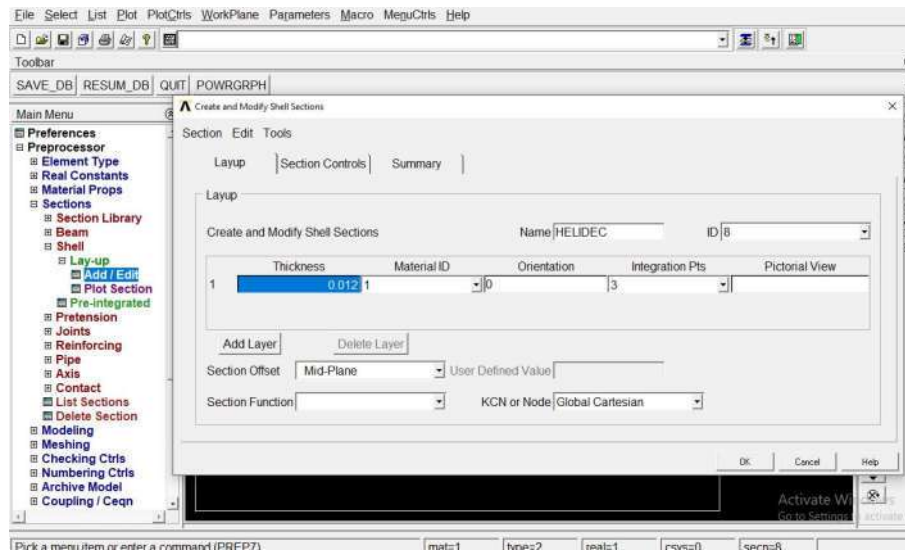


Gambar III.11 Penentuan *Materials Properties*

d. Penentuan *element section*

1) *Shell*

Model dengan geometri luas dibuat dari dimensi panjang dan lebar struktur, dapat dibentuk luasan yang menggambarkan bentuk struktur tanpa ketebalan. Nilai ketebalan struktur kemudian didefinisikan dalam *element section*. Penentuan element section. Penentuan *element section* seperti terlihat pada gambar III.12. Menu tersebut terdapat pada **Preprocessor > Sections > Shell > Lay-up > Add/Edit**.

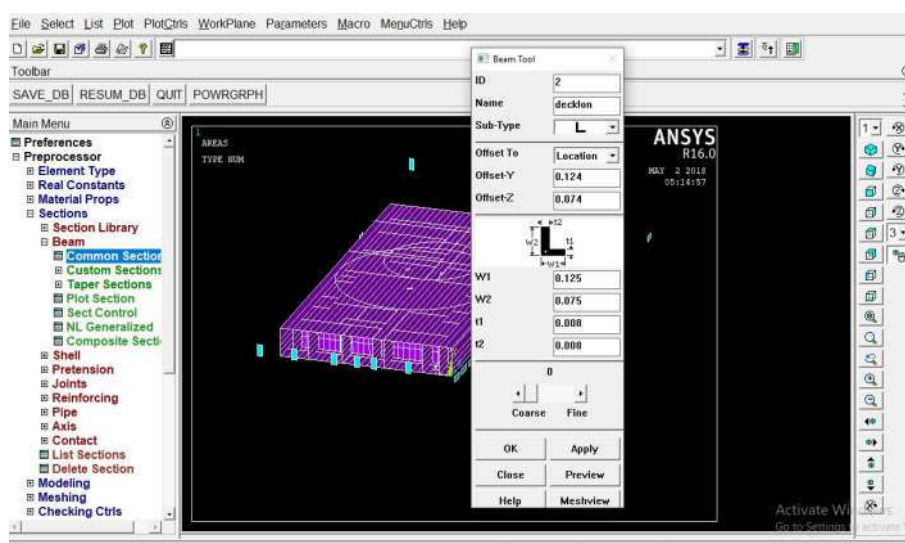


Gambar III.12 Penentuan *Element Section* bagian *Shell*

Data ketebalan pelat dimasukkan ke dalam *element section* untuk mendefinisikan ketebalan dari model struktur yang dibuat. Setiap komponen konstruksi didefinisikan secara individu untuk menghindari kesalahan dalam proses pembuatan model.

2) *Beam*

Model dengan geometri garis yang digunakan untuk menunjukan penegar pada pelat. Untuk menentukan bentuk, dan ukuran dari penegar dapat didefinisikan dalam *element section*. Perintah yang dipakai adalah **Preprocessor > Sections > Beam > Common Sections** seperti yang terlihat pada Gambar III.13. Pemilihan penegar sesuai dengan bentuknya masing masing.



Gambar III.13 Penentuan *Element Section* bagian *Beam*

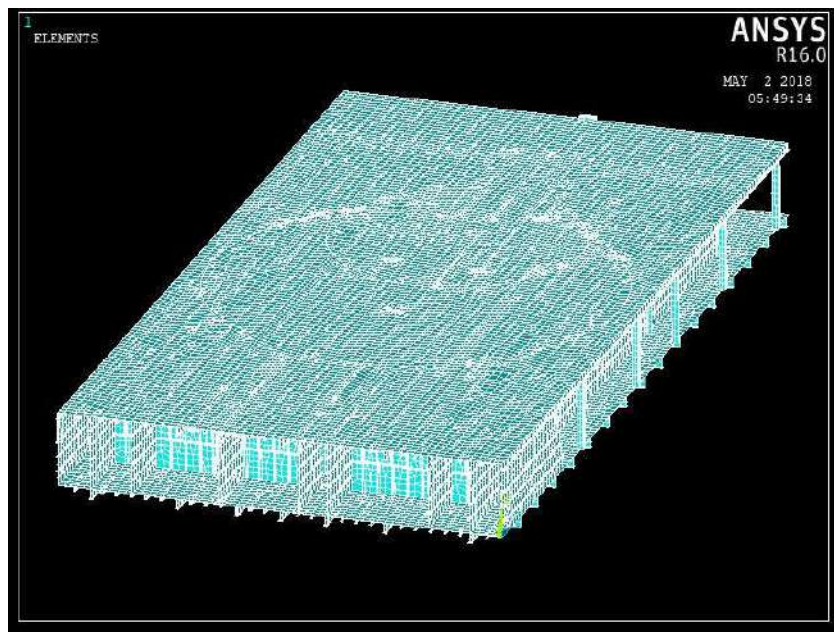
e. Pembuatan geometri model

Proses pembuatan geometri model menggunakan perangkat lunak ini harus dilakukan secara bertahap dimulai dari titik (keypoints), dari titik-titik tersebut disambung yang kemudian membentuk garis (lines), kemudian garis-garis disambung menjadi luasan (areas), dan gabungan beberapa luasan akan membentuk volume. Untuk tahap pembuatan geometri luas, proses pembuatan berhenti sampai garis-garis yang disambung membentuk sebuah luasan dari struktur.

Dalam proses pembuatan model harus dipastikan setiap komponen konstruksi tersambung antara satu dengan lainnya, meskipun memiliki geometri yang berbeda. Sambungan antara geometri garis dan luasan adalah garis yang bersinggungan (intersects), dengan demikian pada pertemuan antara kedua geometri tersebut harus terdapat potongan luasan. Hal ini dilakukan agar dalam proses analisa menggunakan metode elemen hingga, kedua geometri dapat dianalisa secara gabungan dan tidak terpisah.

f. *Meshing*

Proses meshing dilakukan setelah pembuatan geometri model selesai. Pada tahap ini model dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil untuk selanjutnya dianalisa menggunakan metode elemen hingga. Ukuran meshing model menentukan keakuratan hasil analisa menggunakan metode elemen hingga.



Gambar III.14 Hasil Meshing

Terlihat pada Gambar III. 14 hasil meshing dan dalam proses meshing struktur *Helideck* menggunakan bentuk meshing quadrilateral (segi empat) untuk geometri luasan.

III.4.2.Solver

Tahap solver merupakan tahap perhitungan dalam proses analisa menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga. Tahap solver dibagi menjadi tiga proses, yaitu pemindahan beban dan kondisi batas dari geometri ke elemen-elemen hasil proses meshing; dan proses perhitungan komputasi dari model yang telah disimulasikan.

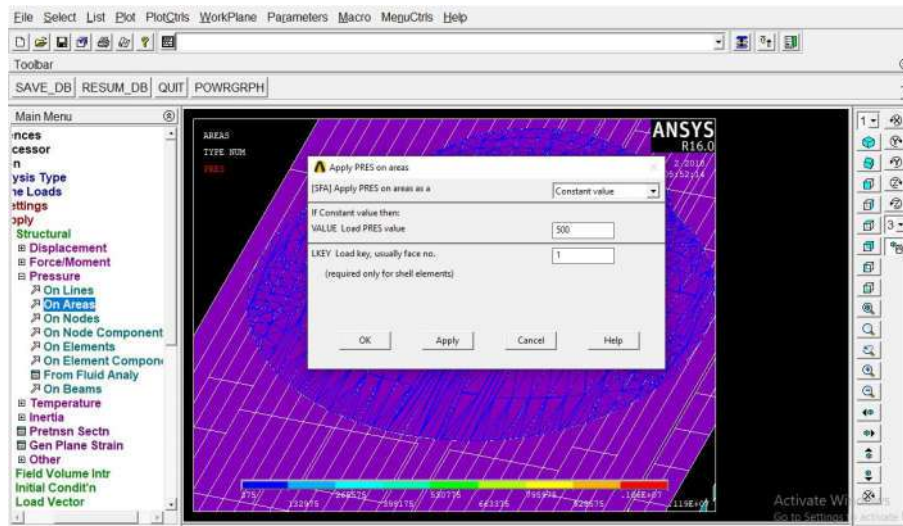
a. Pembebanan

Untuk melakukan analisa kekuatan menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga, pembebanan yang dialami struktur harus diaplikasikan ke model. Pembebanan harus diaplikasikan sesuai dengan kondisi yang dialami struktur. Sesuai dengan Sub-Bab II.1.2 dalam analisa tugas akhir ini menggunakan perhitungan pembebanan pada *Load Cases* 3, dikarenakan *Load Cases* 3 merupakan kondisi normal helikopter mendarat. Pembebanan menggunakan beban statis akibat muatan yang merupakan beban Helikopter. Berdasarkan persamaan II.6 didapatkan Beban yang diaplikasikan pada *helideck*, dan dapat dilihat pada Tabel III.4.

Tabel III.4 Pembebanan Pada *Helideck*

No	Tipe Beban	Nilai beban
1	<i>Landing force</i>	57.330 kN
2	<i>Wind load</i>	64.479 kN
3	<i>Enviromental loads</i>	0.5 kN/m ²

Beban diaplikasikan ke model dalam bentuk tekanan pada daerah roda helikopter. Pembebanan *Landing force* didistribusikan disetiap roda helikopter. Untuk pembebanan *Wind load* didistribusikan didaerah yang mendapatkan tekanan angin yang diakibatkan dari perputaran baling baling helikopter. Pembebanan *Enviromental loads* didistribusikan di area *helipad*. Untuk memasukan beban terdapat pada perintah ***Solution > Define Load > Applay > Pressure > On Area*** seperti terlihat pada Gambar III.15.



Gambar III.15 Pemberian Beban pada Model

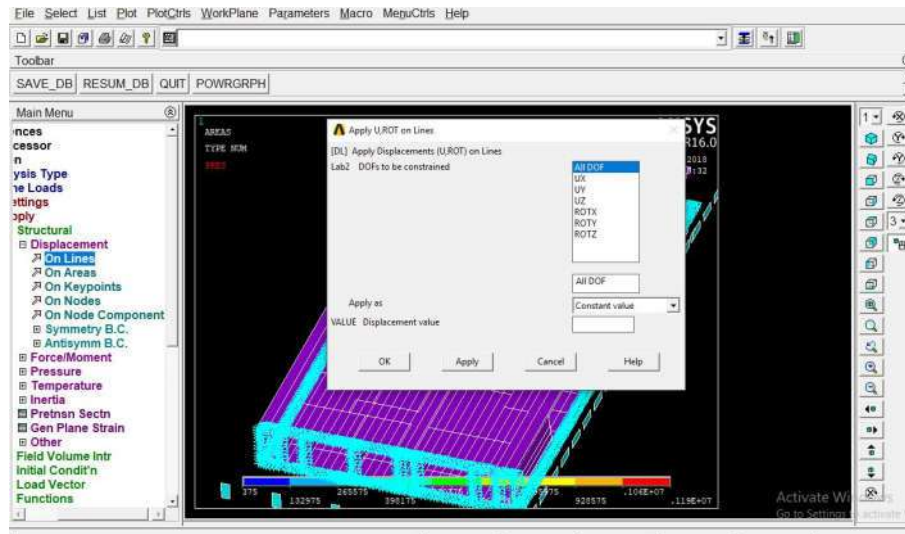
b. Aplikasi kondisi batas

Kondisi batas diaplikasikan agar kondisi sebenarnya yang dialami struktur dapat disimulasikan pada model. Kondisi batas yang diaplikasikan berupa tumpuan pada ujung model yang membatasi derajat kebebasan model (*degree of freedom*) Terdapat 6 jenis derajat kebebasan model, yaitu displamen pada sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z; serta rotasi pada sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z. Pemberian kondisi batas terdapat pada ***Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Area*** seperti terlihat pada Gambar III.16. Aplikasi kondisi batas pada model harus benar-benar diperhatikan agar kondisi yang disimulasikan model dapat mewakili kondisi struktur sebenarnya.

Kondisi batas diaplikasikan dengan acuan sumbu pada model struktur, yang terdiri dari 3 sumbu, yaitu sebagai berikut:

- 1) sumbu X searah dengan lebar kapal;
- 2) sumbu Y searah dengan tinggi kapal; dan
- 3) sumbu Z searah dengan panjang kapal

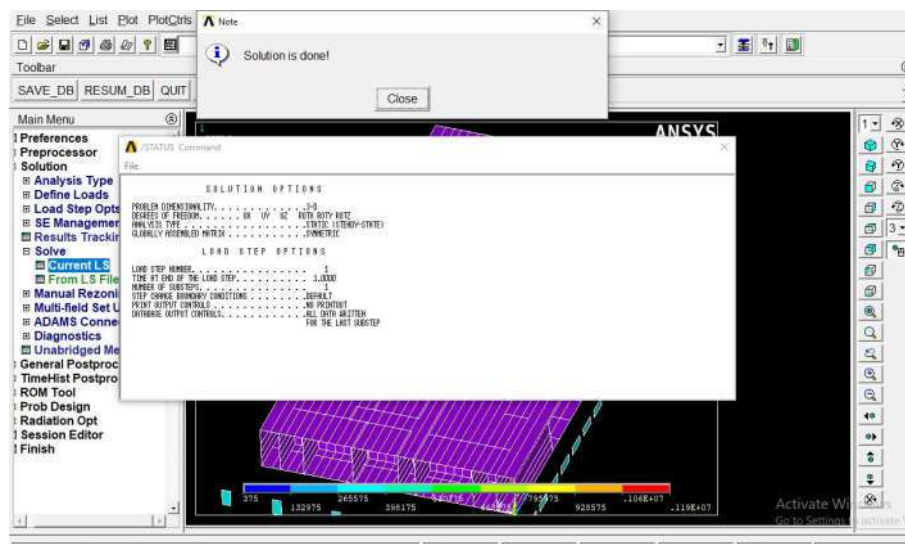
Kondisi batas diaplikasikan pada geometri garis pada sambungan antara sekat bagian *maindeck*, dan sambungan antara pelat *maindeck* dengan pelat lambung kapal. Proses ini dilakukan dengan cara memberi nilai 0 (nol) pada derajat kebebasan yang akan dibatasi



Gambar III.16 Pengaplikasian Kondisi Batas

c. Tahap Analisa

Tahap terakhir dari tahapan solver adalah analisa. Setelah pemberian beban dan kondisi batas pada model maka model *helideck* siap untuk dianalisa dengan melakukan perhitungan menggunakan perangkat lunak berbasis elemen hingga ditunjukkan seperti Gambar III. 17



Gambar III.17 Proses Analisa

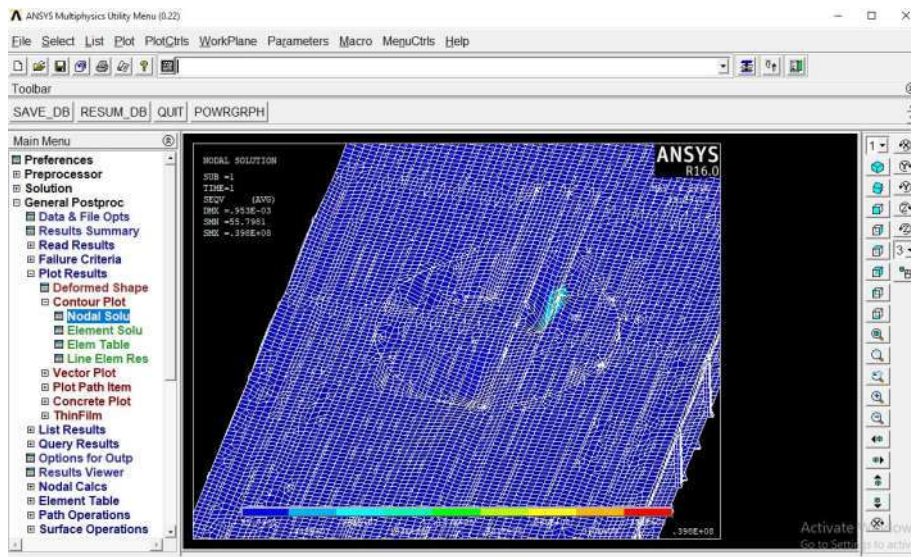
III.4.3. Tahap *Post-processor*

Pada tahap ini, model yang telah dianalisa dengan perhitungan komputasi dapat dilihat hasil dari perhitungannya dalam bentuk grafis. Bentuk grafis yang ditampilkan menjelaskan

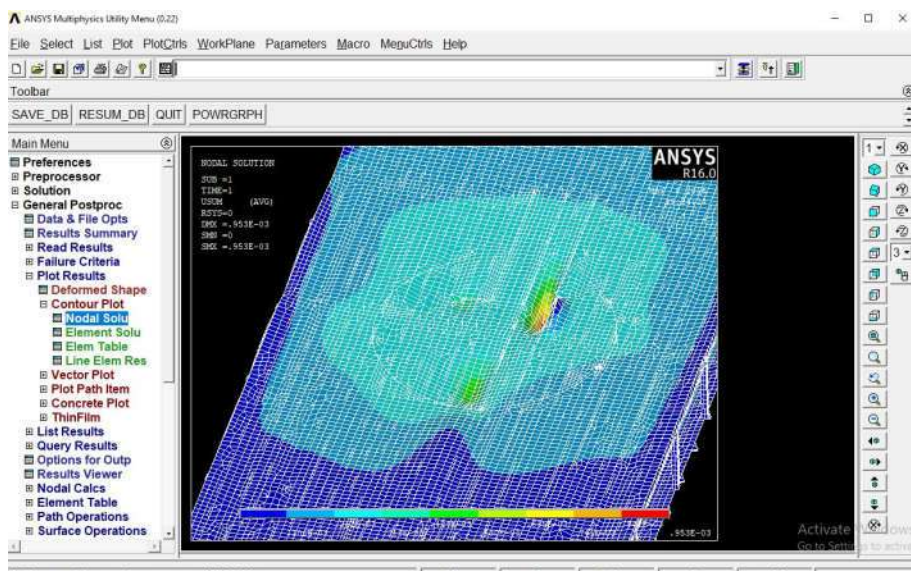
respon yang diberikan model terhadap kondisi batas dan pembebanan yang diberikan dan memperlihatkan nilai tegangan dan nilai deformasi dari *helideck*.

a. *Von Mises Stress* untuk Tegangan Gabungan

Sesuai dengan Sub-Bab II.1.11 tegangan yang dipilih pada analisa ini adalah *von mises stress*. Perintah ini terdapat pada **Main menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution**. Kemudian pilih tegangan *von mises stress*. dan hasil analisanya dapat dilihat pada Gambar III.18.



Gambar III.18 Contoh Hasil Analisa Berupa Tegangan



Gambar III.19 Contoh Hasil Analisa Berupa Deformasi

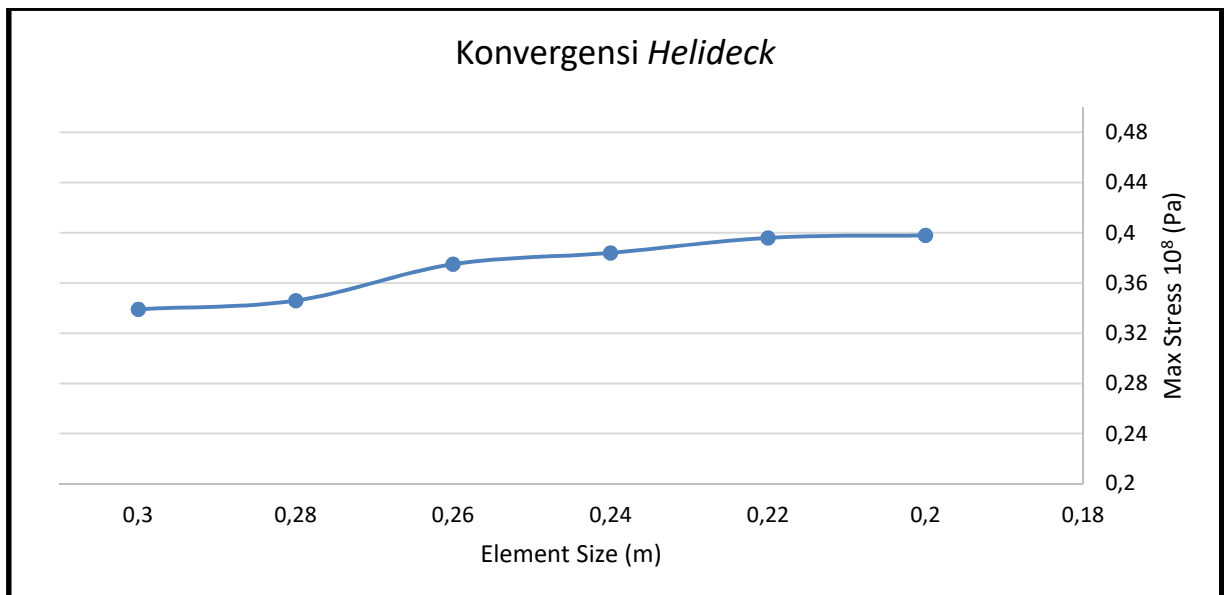
b. Defromasi

Untuk menampilkan deformasi, dapat dilakukan pada perintah **Main menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution**. Kemudian pilih DOF Solution dengan kriteria Displacement Vector Sum seperti pada Gambar III. 19.

III.5. Konvergensi Model

Proses konvergensi pada model *helideck* meningkatkan keakuratan hasil analisa kekuatan. Proses konvergensi dilakukan dengan cara mengubah ukuran mesh pada model menjadi ukuran yang lebih kecil. Perubahan ukuran mesh akan menyebabkan hasil pada proses solver model sekat berubah. Nilai tegangan pada model dapat meningkat ataupun berkurang seiring dengan perbuhan ukuran mesh yang semakin kecil. Proses konvergensi dilakukan terus menerus sampai nilai tegangan tidak berubah atau konstan. Saat kondisi tersebut berarti model sekat telah mewakili kondisi sekat bergelombang sebenarnya.

Konvergensi model pada tugas akhir ini menggunakan perbandingan antara ukuran elemen dengan nilai tegangan. Diketahui bahwa perbandingan antara jumlah elemen dan ukuran elemen adalah berbanding lurus, yaitu semakin kecil ukuran elemen maka jumlah elemen juga akan semakin banyak. Hasil konvergensi model ditunjukkan pada Gambar III.20 dan hasilnya dirangkum pada Tabel III.6



Gambar III.20 Grafik Konvergensi *Helideck*

Tabel III.5 Hasil Konvergensi

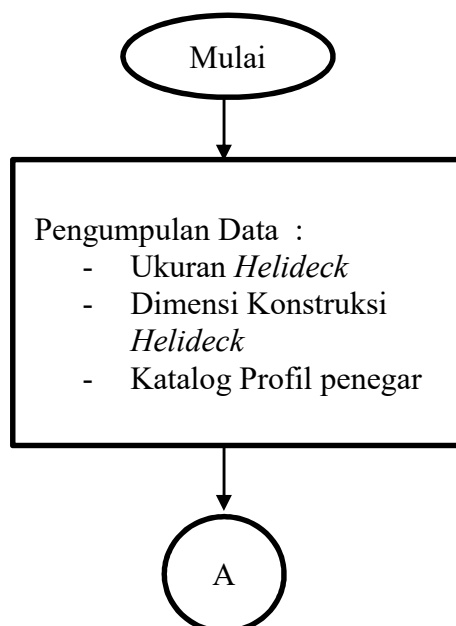
No	Ukuran Elemen (m)	Jumlah Elemen	Tegangan Maksimum (MPa)
1	0.3	45401	0.339
2	0.28	46453	0.346
3	0.26	47857	0.375
4	0.24	49813	0.384
5	0.22	51744	0.396
6	0.2	59659	0.398

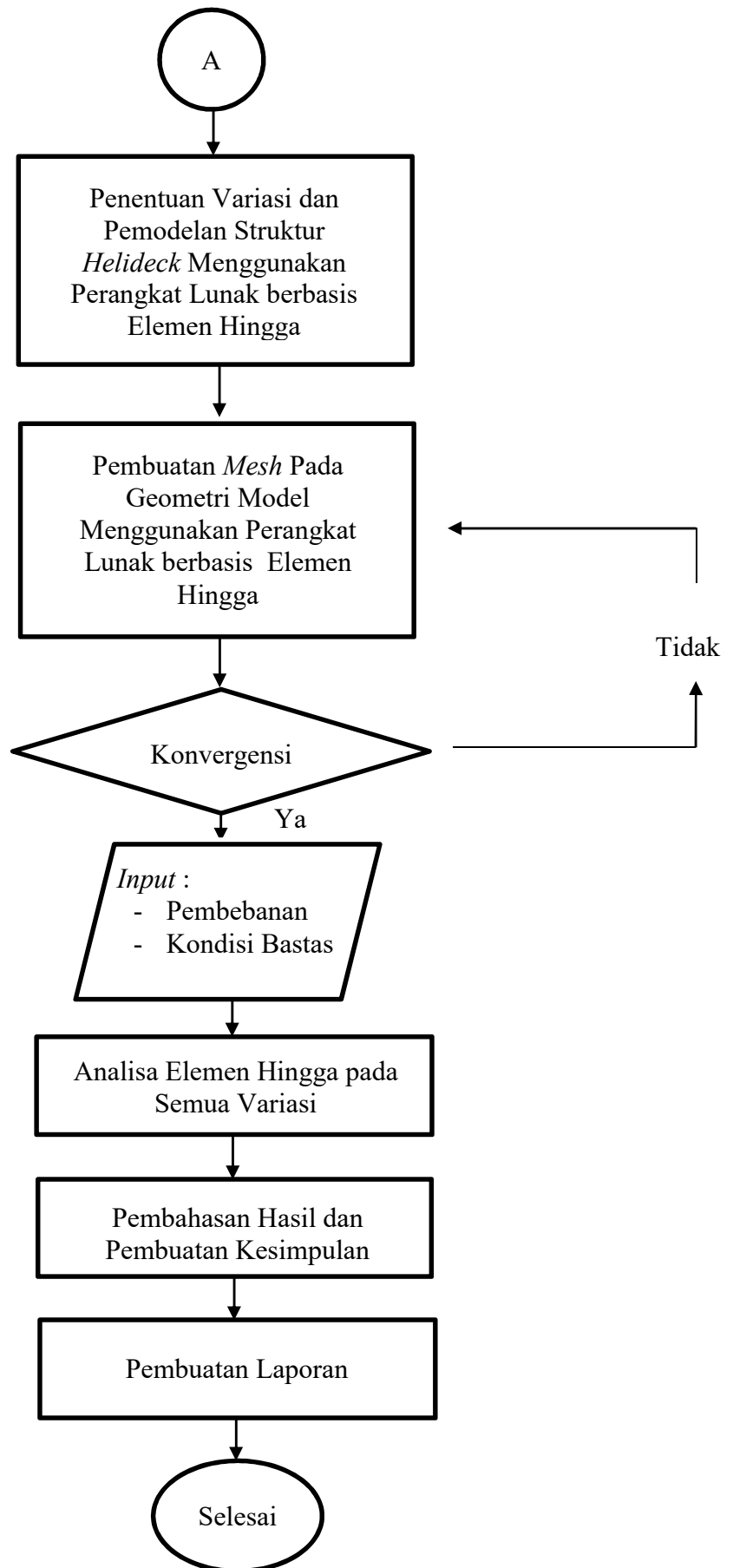
Berdasarkan hasil konvergensi pada model *helideck* seperti yang diperlihatkan pada Gambar III.20 dan Tabel.5 besarnya tegangan maksimum terjadi pada variasi meshing keenam dengan nilai 0.398 Mpa. Pada titik tersebut nilai tegangan sudah mulai konstan atau memiliki perubahan sangat kecil dari tengangan sebelumnya yaitu sebesar 0.002 MPa. Sehingga pada model *helideck* digunakan ukuran meshing keenam. Aspek rasio elemen yang digunakan sesuai persamaan III.8 adalah sebagai berikut:

$$\text{Aspek Ratio}, \frac{0.2}{0.07} = 2.857 \leq 3 \text{ (memenuhi)}$$

III.6. Bagan Alir

Bagan alir menjelaskan proses pengerjaan Tugas Akhir ini secara keseluruhan. Bagan alir berisi rangkuman dari metodologi pengerjaan Tugas Akhir hingga proses penyelesaian permasalahannya. Bagan alir pengerjaan Tugas Akhir ini ditunjukkan pada Gambar III.21





Gambar III.21 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

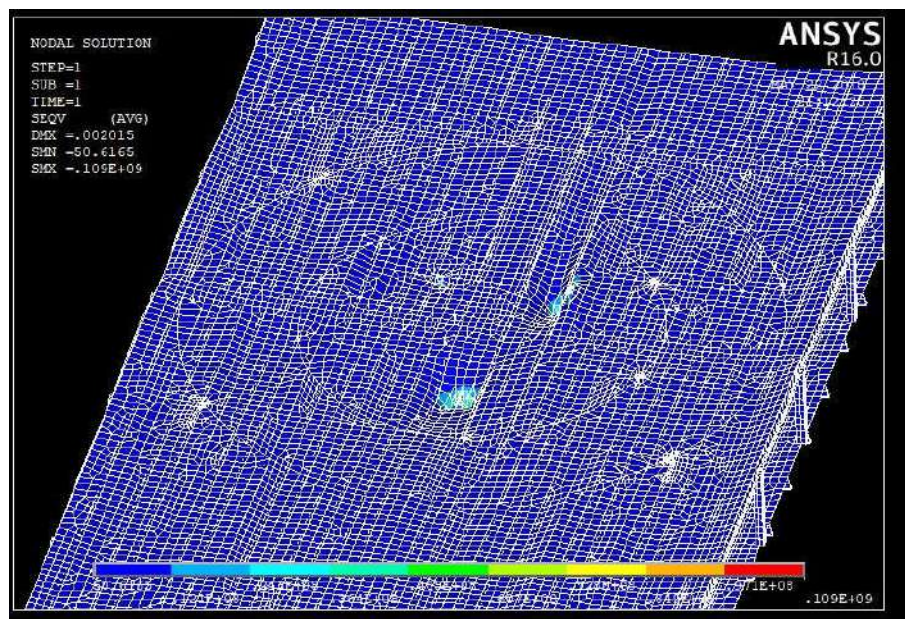
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil Simulasi Model

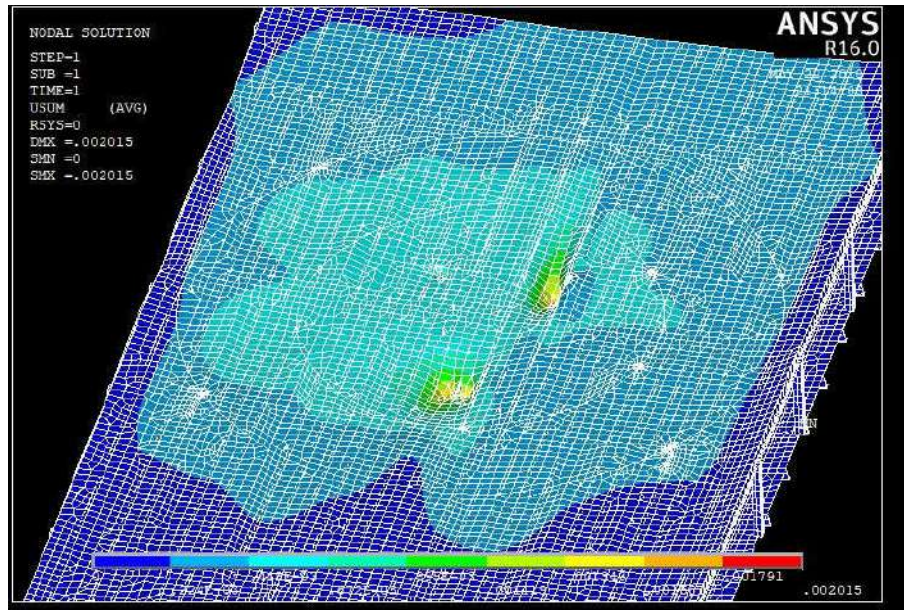
Analisa model dilakukan sesuai dengan tahap-tahap yang telah dijelaskan pada BAB III, maka akan didapatkan hasil berupa tegangan dan deformasi pada setiap model. Dari hasil tersebut akan dibandingkan antar model dan juga terhadap tegangan izin. Berdasarkan Sub-Bab III.3, model memiliki 4 variasi kondisi pembebanan. Berikut ini adalah hasil tegangan dan deformasi untuk setiap kondisi pembebanan:

IV.1.1. Kondisi 1

Kondisi 1 merupakan kondisi pendaratan helikopter yang seharusnya atau kondisi pendaratan normal dari helikopter. Berdasarkan Sub-Bab III.3 pada kondisi ini semua roda helikopter berada di dalam lingkaran *helipad*, sehingga semua pembebanan berada di dalam lingkaran *helipad*. Hasil simulasi model ini diperoleh nilai tegangan konstruksi yang ditunjukkan pada Gambar IV.1, dan nilai deformasi konstruksi sekat yang ditunjukkan pada Gambar IV.2



Gambar IV.1 Tegangan Maksimum Model pada Kondisi 1



Gambar IV.2 Deformasi Maksimum Model pada Kondisi 1

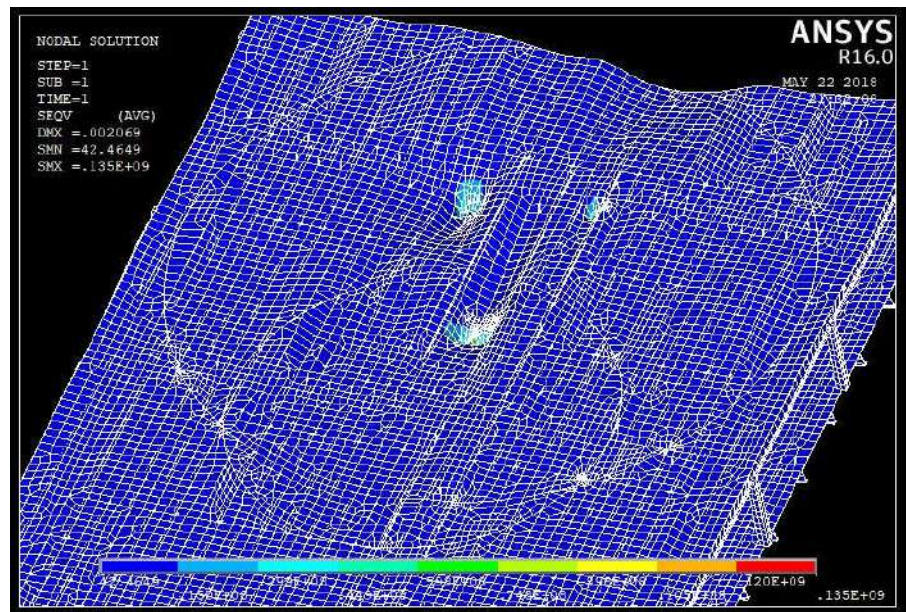
Berdasarkan Sub-Bab II.11 dijelaskan bahwa untuk mengetahui nilai tegangan yang diperbolehkan pada model struktur, digunakan tegangan *von mises*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.1 adalah tegangan yang terjadi pada kondisi 1 menggunakan interpretasi tegangan *von mises*. Terlihat pada gambar tersebut hasil *solving* yang menunjukkan nilai tegangan *von mises* maksimum model pada kondisi 1 sebesar 109 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian *main girder* pada pelat yang menumpu roda bagian depan helikopter. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada area yang berwarna biru tua yaitu pelat *helideck* dibagian depan model.

Nilai deformasi maksimum pada model pada kondisi 1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.2, yaitu sebesar 2.015 mm. Nilai deformasi diambil berdasarkan hasil jumlah dari deformasi yang terjadi pada tiga arah sumbu, yaitu deformasi pada arah sumbu-X, deformasi pada arah sumbu-Y, dan deformasi pada arah sumbu-Z. Deformasi maksimum terjadi pada bagian pelat yang menumpu roda bagian depan helikopter.

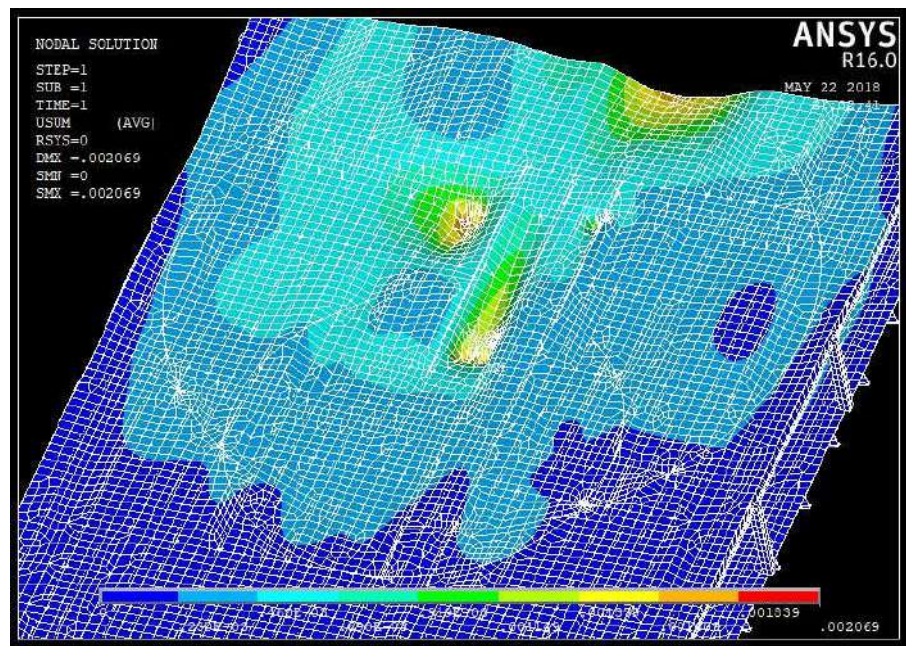
IV.1.2. Kondisi 2

Kondisi 2 merupakan kondisi pendaratan helikopter yang berada di belakang kondisi pendaratan normal dari helikopter. Berdasarkan Sub-Bab III.3 pada kondisi ini satu roda helikopter berada di dalam lingkaran *helipad*, dan dua roda helikopter berada di luar lingkaran *helipad*, sehingga pembebanan model menjadi satu berada di dalam lingkaran *helipad*, dan dua berada diluar *helipad*. Hasil simulasi model ini diperoleh nilai tegangan konstruksi yang

ditunjukkan pada Gambar IV.3, dan nilai deformasi konstruksi sekat yang ditunjukkan pada Gambar IV.4



Gambar IV.3 Tegangan Maksimum Model pada Kondisi 2



Gambar IV.4 Deformasi Maksimum Model pada Kondisi 2

Terlihat pada Gambar IV.3 hasil *solving* yang menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum model pada kondisi 2 sebesar 135 MPa, Pada Sub-Bab II.11 dijelaskan bahwa untuk mengetahui nilai tegangan yang diperbolehkan pada model struktur, digunakan tegangan *von mises*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.3 adalah tegangan yang terjadi pada kondisi

2 menggunakan interpretasi tegangan *von mises*. Nilai tegangan *von mises* maksimum pada kondisi 2 terletak pada area berwarna merah bagian *main girder* pada pelat yang menumpu roda bagian belakang depan helikopter. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada area yang berwarna biru tua pada pelat *helideck* bagian depan model.

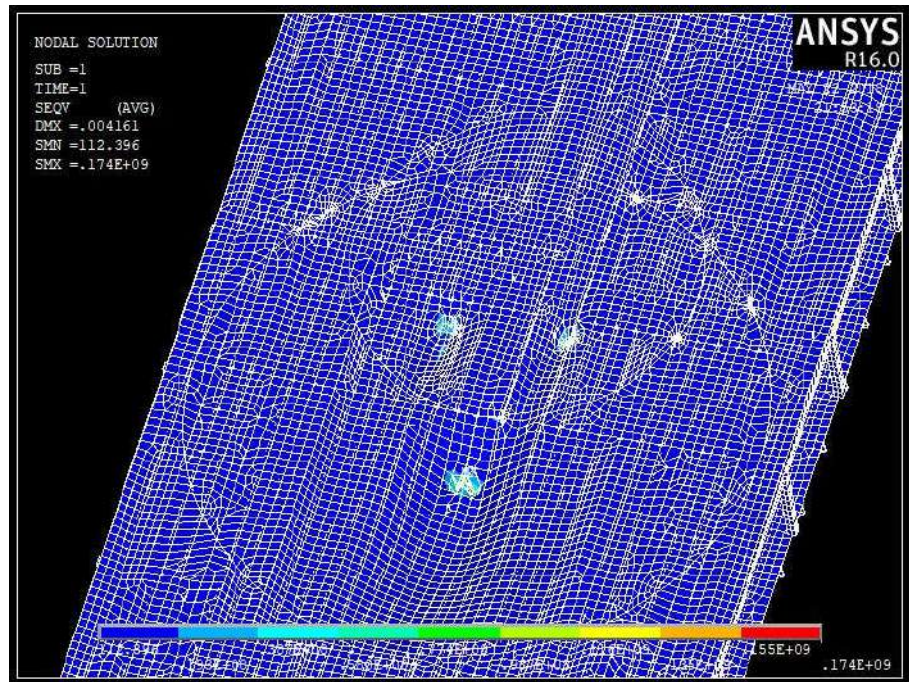
Nilai deformasi dapat dilihat pada Gambar IV.4 Nilai deformasi diambil berdasarkan hasil jumlah dari deformasi yang terjadi pada tiga arah sumbu, yaitu deformasi pada arah sumbu-X, deformasi pada arah sumbu-Y, dan deformasi pada arah sumbu-Z. Nilai deformasi maksimum model pada kondisi 2 sebesar 2.069 mm. Deformasi maksimum terjadi pada bagian pelat yang menumpu roda depan helikopter.

IV.1.3. Kondisi 3

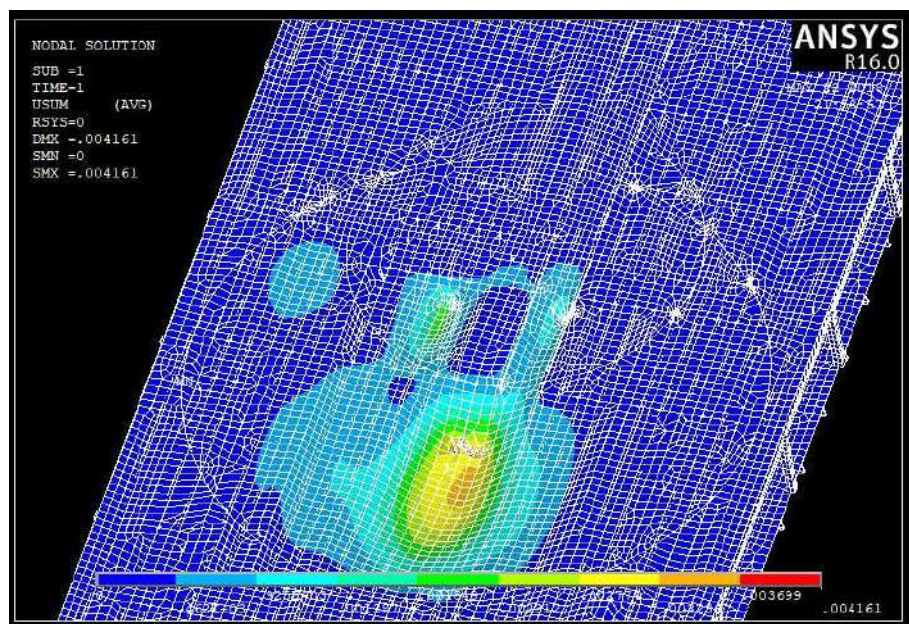
Kondisi 3 merupakan kondisi pendaratan helikopter yang berada di depan kondisi pendaratan normal dari helikopter. Berdasarkan Sub-Bab III.3 pada kondisi ini dua roda helikopter berada di dalam lingkaran *helipad*, dan satu roda helikopter berada di luar lingkaran *helipad*, sehingga pembebanan model menjadi dua berada di dalam lingkaran *helipad*, dan satu berada diluar *helipad*. Dari simulasi model ini diperoleh nilai tegangan konstruksi yang ditunjukkan pada Gambar IV.5, dan nilai deformasi konstruksi sekat yang ditunjukkan pada Gambar IV.6.

Berdasarkan Sub-Bab II.11 dijelaskan bahwa untuk mengetahui nilai tegangan yang diperbolehkan pada model struktur, digunakan tegangan *von mises*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.1 adalah tegangan yang terjadi pada kondisi 3 menggunakan interpretasi tegangan *von mises*. Terlihat Pada Gambar IV.5 hasil *solving* yang menunjukkan nilai tegangan *von mises* maksimum model pada kondisi 3 sebesar 174 MPa yang terletak pada area berwarna merah bagian *main girder* pada pelat yang menumpu roda bagian depan helikopter. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada area yang berwarna biru tua yaitu pelat *helideck* dibagian depan model.

Nilai deformasi maksimum model pada kondisi 3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.2, yaitu sebesar 4.161 mm. Nilai deformasi diambil berdasarkan hasil jumlah dari deformasi yang terjadi pada tiga arah sumbu, yaitu deformasi pada arah sumbu-X, deformasi pada arah sumbu-Y, dan deformasi pada arah sumbu-Z. Deformasi maksimum terjadi pada bagian pelat yang menumpu roda bagian pelat yang menumpu roda bagian depan helikopter.



Gambar IV.5 Tegangan Maksimum Model pada Kondisi 3

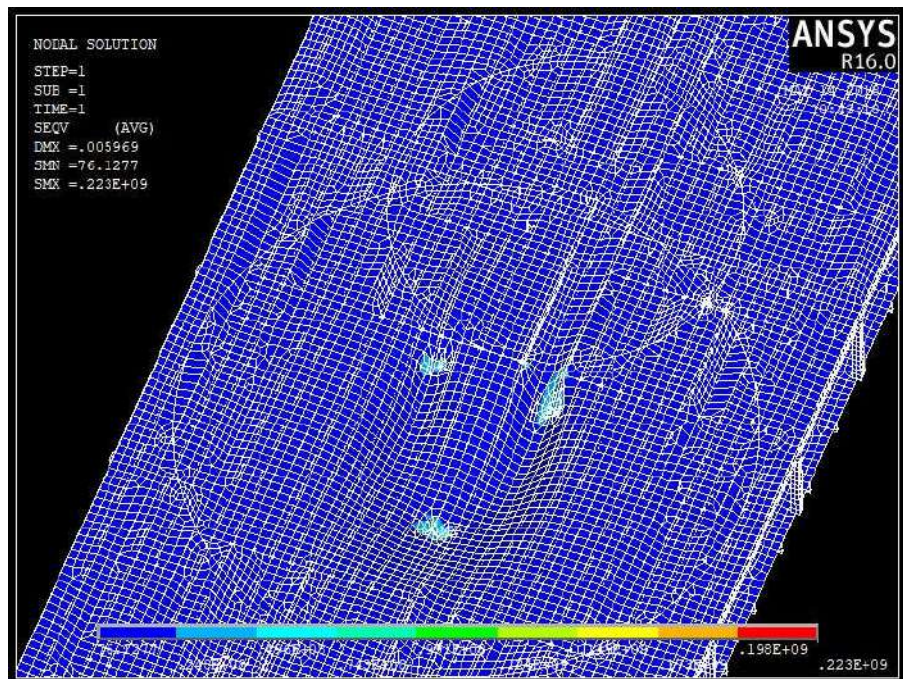


Gambar IV.6 Deformasi Maksimum Model pada Kondisi 3

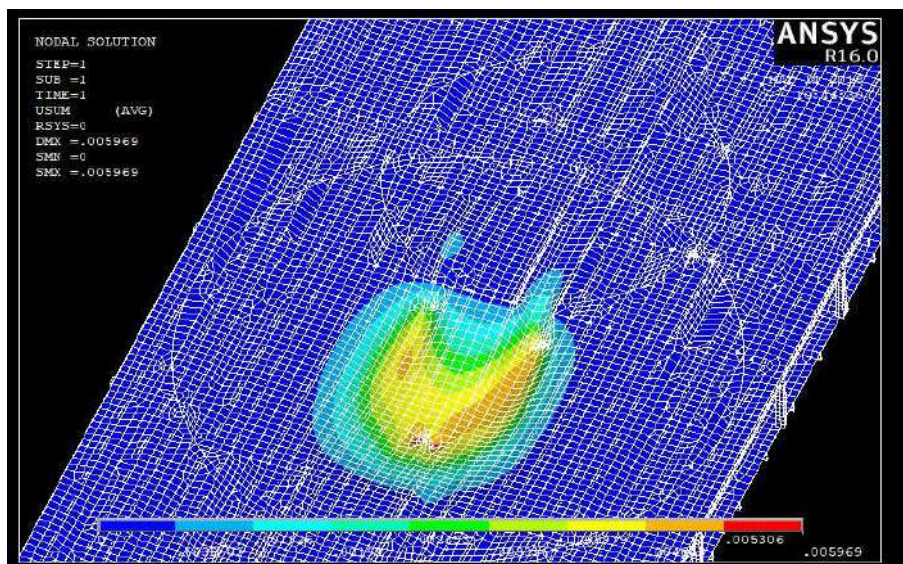
IV.1.4. Kondisi 4

Kondisi 4 merupakan kondisi pendaratan darurat helikopter yang berada diluar lingkaran *helipad*. Berdasarkan Sub-Bab III.3 pada kondisi ini semua roda helikopter berada diluar lingkaran *helipad*, sehingga semua pembebanan model berada diluar lingkaran *helipad*. Dari

simulasi model ini diperoleh nilai tegangan konstruksi yang ditunjukkan pada Gambar IV.7, dan nilai deformasi konstruksi sekat yang ditunjukkan pada Gambar IV.8.



Gambar IV.7 Tegangan Maksimum Model pada Kondisi 4



Gambar IV.8 Deformasi Maksimum Model pada Kondisi 4

Terlihat pada gambar Gambar IV.7 terlihat hasil *solving* yang menunjukkan nilai *von mises stress* maksimum model pada kondisi 4 sebesar 223 MPa, Pada Sub-Bab II.11 dijelaskan bahwa untuk mengetahui nilai tegangan yang diperbolehkan pada model struktur, digunakan tegangan *von mises*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar IV.7 adalah tegangan yang terjadi

pada kondisi 4 menggunakan interpretasi tegangan *von mises*. Nilai tegangan *von mises* maksimum pada kondisi 4 terletak pada area berwarna merah bagian *main girder* pada pelat yang menumpu roda bagian depan helikopter. Sedangkan tegangan minimum terjadi pada area yang berwarna biru tua pada pelat *helideck* bagian depan model.

Nilai deformasi dapat dilihat pada Gambar IV.8 Nilai deformasi diambil berdasarkan hasil jumlah dari deformasi yang terjadi pada tiga arah sumbu, yaitu deformasi pada arah sumbu-X, deformasi pada arah sumbu-Y, dan deformasi pada arah sumbu-Z. Nilai deformasi maksimum model pada kondisi 4 sebesar 5.969 mm. Deformasi maksimum terjadi pada bagian pelat yang menumpu roda depan helikopter.

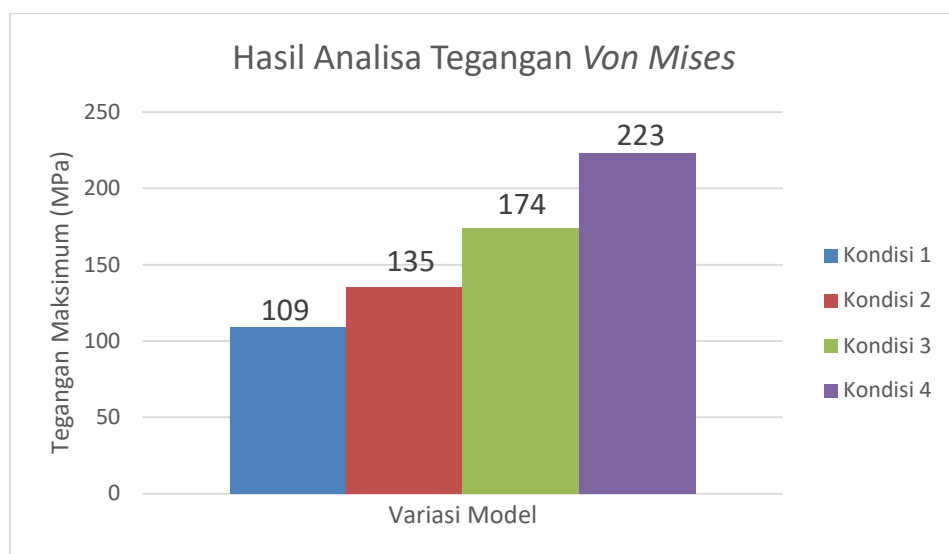
IV.2. Pembahasan Hasil

IV.2.1. Tegangan Maksimum

Dari hasil simulasi model *helideck*, diperoleh nilai tegangan maksimum yang terjadi pada setiap variasi model *helideck*. Nilai tegangan maksimum pada model dapat dilihat pada Tabel IV.1

Tabel IV.1 Nilai Tegangan Maksimum Pada Setiap Variasi Model

No	Variasi Pembebanan	Tegangan Maksimum (MPa)
1	Kondisi 1	109
2	Kondisi 2	135
3	Kondisi 3	174
4	Kondisi 4	223



Gambar IV.9 Grafik Tegangan pada Model

Dapat dilihat pada Tabel IV.1 dan Gambar IV.9 bahwa tegangan model kondisi 1 memiliki nilai terkecil dibandingkan dengan tiga model lainnya yaitu sebesar 109 MPa, model kondisi 1 memiliki nilai terkecil dikarenakan pembebanan yang diberikan sesuai dengan kondisi sebenarnya di dalam area *helipad*. Pergeseran beban kebagian belakang area *helipad* menyebabkan peningkatan nilai tegangan maksimum menjadi sebesar 135 MPa, seperti yang terlihat pada model kondisi 2. Terjadi peningkatan nilai tegangan pada model kondisi 3 menjadi 174 MPa yang dimana bebannya diletakan dibagian depan area *helipad*. Dan tegangan terbesar terjadi pada model kondisi 4 dengan nilai tegangan 223 MPa, hal ini disebabkan semua beban yang diberikan pada kondisi ini berada di luar area *helipad*.

Dari hasil perbandingan nilai tegangan maksimum model *helideck* dengan variasi perubahan letak pembebanan dari helikopter, dapat disimpulkan bahwa kondisi 1 merupakan kondisi pendaratan yang paling optimum. Hal tersebut disebabkan karena pada kondisi 1 memiliki nilai tegangan maksimum lebih dari keempat kondisi pembebanan yang ada.

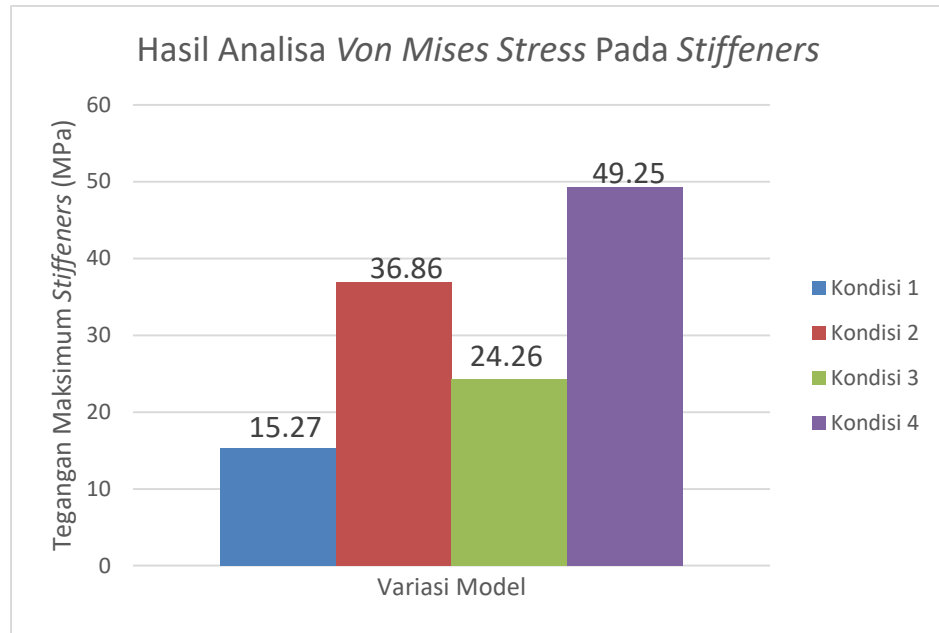
Dari hasil analisa maka dapat ditinjau tegangan maksimum dari setiap model. Analisa dilakukan pada tegangan maksimum karena tegangan ini dianggap yang paling berpengaruh terhadap penentuan apakah konstruksi memenuhi aturan atau tidak. Harga-harga tegangan harus dibandingkan dengan harga tegangan yang diizinkan oleh regulasi. Menurut peraturan BKI (2017) penentuan tegangan izin dibagi menurut struktur penumpunya

a. Tegangan Maksimum Pada *Stiffeners*

Sesuai penjelasan pada Sub-Bab II.1.12 pada analisa tegangan izin pada *stiffeners* dihitung berdasarkan persamaan II.14. Hasil analisa tegangan maksimum *Stiffeners* pada semua kondisi dapat dilihat pada Tabel IV.2

Tabel IV.2 Tegangan Maksimum pada *Stiffeners*

No	Variasi Pembebanan	σ_{Max} (MPa)	σ_{Perm} (MPa)	$\sigma_{Max} \leq \sigma_{Perm}$
1	Kondisi 1	15.27	213.63	Memenuhi
2	Kondisi 2	36.86	213.63	Memenuhi
3	Kondisi 3	24.26	213.63	Memenuhi
4	Kondisi 4	49.25	213.63	Memenuhi



Gambar IV.10 Grafik Tegangan pada *Stiffeners*

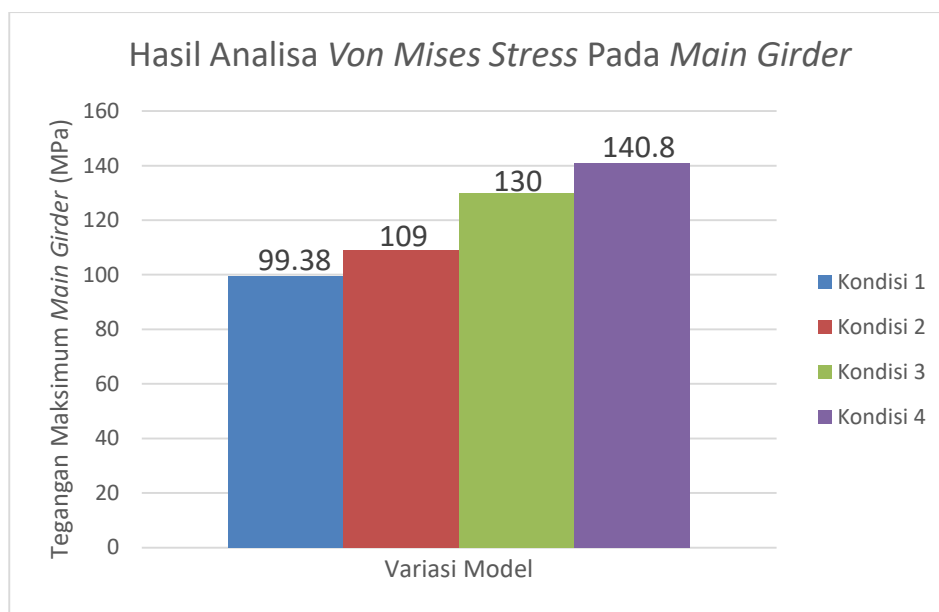
Terlihat pada Tabel IV.2 dan Gambar IV.10 hasil perbandingan tegangan izin pada *stiffeners* dengan tegangan maksimum *stiffeners* setiap kondisi, keempat kondisi menghasilkan tegangan *stiffeners* di bawah tegangan izin *stiffeners* sehingga semua kondisi dapat dikatakan sudah memenuhi kriteria berdasarkan standar dari BKI (2017). Pada semua model tegangan maksimum *stiffeners* terjadi pada penumpu roda bagian belakang sebelah kanan helikopter. Pada kondisi 1 mengalami tegangan maksimum *stiffeners* terkecil diantara ketiga model lainnya sebesar 15.27 MPa. Pada kondisi 2 mengalami peningkatan tegangan maksimum *stiffeners* menjadi 36.86 MPa, hal ini disebabkan penumpu roda bagian belakang sebelah kanan helikopter berada di luar area *helipad* yang memiliki ketebalan lebih kecil dibandingkan dengan di dalam area *helipad*. Pada kondisi 3 mengalami penurunan tegangan maksimum *stiffeners* menjadi 24.26 MPa, dikarenakan penumpu roda bagian belakang sebelah kanan helikopter berada di dalam area *helipad*. Pada kondisi 4 mengalami tegangan maksimum *stiffeners* yang paling besar diantara ketiga model lainnya yaitu sebesar 49.25 MPa.

b. Tegangan Maksimum Pada *Main Girder*

Sesuai penjelasan pada Sub-Bab II.1.12 pada analisa tegangan izin pada *main girder* dihitung berdasarkan rasio persamaan II.14 Hasil analisa tegangan maksimum *min girder* pada semua kondisi dapat dilihat pada Tabel IV.3

Tabel IV.3 Tegangan Maksimum pada *Main Girder*

No	Variasi Pembebanan	σ_{Max} (MPa)	σ_{Perm} (MPa)	$\sigma_{Max} \leq \sigma_{Perm}$
1	Kondisi 1	99.38	162.069	Memenuhi
2	Kondisi 2	109	162.069	Memenuhi
3	Kondisi 3	130	162.069	Memenuhi
4	Kondisi 4	140.8	162.069	Memenuhi

Gambar IV.11 Grafik Tegangan pada *Main Girder*

Terlihat pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.11 hasil perbandingan tegangan izin pada *main girder* dengan tegangan maksimum *main girder* setiap kondisi, keempat kondisi menghasilkan tegangan *main girder* di bawah tegangan izin *main girder* sehingga semua kondisi dapat dikatakan sudah memenuhi kriteria berdasarkan standar dari BKI (2017). Pada semua model tegangan maksimum *main girder* terjadi pada penumpu roda depan helikopter. Pada kondisi 1 mengalami tegangan maksimum *main girder* terkecil diantara ketiga model lainnya yaitu sebesar 99.86 MPa. Pada kondisi 2 mengalami peningkatan nilai tegangan maksimum *main girder* menjadi 109 MPa. Dan terjadi juga pada kondisi 3 yang mengalami peningkatan nilai tegangan maksimum *main girder* menjadi 130 MPa. Pada kondisi 4 memiliki nilai tegangan maksimum *main girder* terbesar diantara ketiga model lainnya yaitu sebesar 140.8 MPa. Nilai tegangan maksimum *main girder* kondisi 1 dan

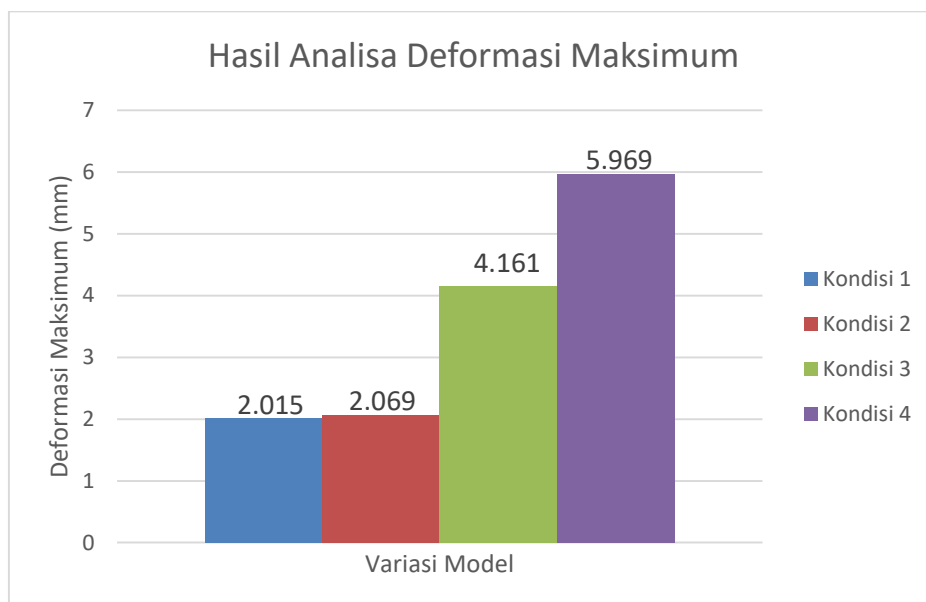
kondisi 2 lebih kecil dari pada kondisi 3 dan kondisi 4 dikarenakan penumpu roda depan helikopter pada kondisi 1 dan kondisi 2 berada di dalam area *helipad*, sehingga memiliki nilai tegangan yang lebih kecil dibandingkan kondisi 3 dan kondisi 4.

IV.2.2. Deformasi Maksimum

Dalam analisa kekuatan *helideck* faktor deformasi harus diperhatikan untuk melihat respon medel terhadap beban yang bekerja. Deformasi berbanding lurus dengan tegangan yang terjadi, semakin besar tegangan yang terjadi maka semakin besar pula deformasi yang dialami oleh model konstruksi. Dari hasil analisa model *helideck* didapatkan nilai deformasi maksimum yang terjadi pada model *helideck*. Nilai deformasi maksimum yang terjadi pada setiap variasi model *helideck* dinyatakan pada Tabel IV.4

Tabel IV.4 Deformasi Maksimum pada Model

No	Variasi Pembebanan	Nilai Deformasi Maksimum (mm)
1	Kondisi 1	2.015
2	Kondisi 2	2.069
3	Kondisi 3	4.161
4	Kondisi 4	5.969



Gambar IV.12 Grafik Deformasi pada Model

Terlihat pada Tabel IV.4 dan Gambar IV.12 hasil dari deformasi maksimum yang terjadi pada model di setiap kondisi. Deformasi maksimum untuk pada semua model terjadi pada pelat yang menumpu roda depan helikopter. Pada kondisi 1 mengalami nilai deformasi maksimum terkecil diantara ketiga kondisi lainnya yaitu sebesar 2.015 mm . Pada kondisi 2 mengalami peningkatan nilai deformasi maksimum menjadi 2.069 mm. Dan terjadi juga pada kondis 3 yang mengalami peningkatan nilai deformasi maksimum menjadi 4.161 mm. Pada kondis 4 memiliki nilai deformasi maksimum terbesar diantara ketiga kondisi lainnya yaitu sebesar 5.969 mm. Nilai deformasi kondisi 1 dan kondisi 2 lebih kecil dari pada kondisi 3 dan kondisi 4 dikarenakan pelat yang menumpu roda depan helikopter pada kondisi 1 dan kondisi 2 berada di dalam area *helipad*, sehingga memilki nilai deformasi yang lebih kecil dibandingkan kondisi 3 dan kondisi 4.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan maka dari pemodelan *helideck* dengan empat variasi kondisi berdasarkan kondisi pendaratan helikopter maka kesimpulan dari analisa *helideck* adalah sebagai berikut:

1. Konstruksi *helideck* yang nilai tegangan maksimum terbesar terjadi pada kondisi 4 dengan nilai tegangan maksimum sebesar 223 MPa. Nilai tegangan maksimum terkecil terjadi pada kondisi 1 dengan nilai tegangan maksimum sebesar 109 MPa.
2. Hasil perbandingan tegangan izin setiap komponen struktur dengan tegangan maksimum setiap komponen struktur disemua kondisi. keempat kondisi menghasilkan tegangan maksimum pada setiap komponen struktur di bawah tegangan izin komponen struktur sehingga semua kondisi dapat dikatakan sudah memenuhi kriteria berdasarkan standar dari BKI.
3. Nilai deformasi berbanding lurus dengan nilai tegangan maksimum, nilai deformasi maksimum tersebar terjadi pada kondisi 4 yaitu sebesar 5.969 mm. Nilai deformasi maksimum terkecil terjadi pada kondisi 1 yaitu sebesar 2.015 mm.
4. Kondisi yang paling optimum digunakan pendaratan helikopter adalah kondisi 1 dengan mempertimbangkan nilai tegangan maksimum terkecil dan deformasi maksimum terkecil.

V.2. Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah:

Analisa dalam Tugas Akhir ini tidak mempertimbangkan beban gelombang dan kondisi trim kapal. Untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan analisa *helideck* dengan mempertimbangkan beban gelombang dan kondisi trim kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianus, Sujatanti, S.H., Setyawan, D. (2017). Analisis Kekuatan Konstruksi Sekat Melintang Kapal Tanker dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS Vol 6, No. 2 ISSN:2337-3539*.
- Beer, F.P., and Johnston, E. R.. (1981). *Mechanics of Materials*. New York. McGraw-Hill Book Company.
- BKI (2017). *Rules for The Classification and Construction of Sea Going Steel Ship Volume II: Rules for Hull*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- DNV. (2010). *Rules for classification of Ships – New buildings – Special Equipment And Systems*. DNV.
- Haque, S.A., Zubaydi, A., Sujatanti, S.H. (2017). Analisa Kekuatan Swash Bulkhead Sebagai Longitudinal Bulkhead Ruang Muat Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS Vol 6, No. 2 ISSN:2337-3539*.
- Haryadi, B. (2008). *Teori Fisika Dasar*. Bandung.
- Haryanto, T.R., Zubaydi, A., Sujatanti, S.H. (2017). Analisa Tegangan Pada Geladak Penumpang Akibat Modifikasi Kapal Penumpang Menjadi Kapal Penumpang Kendaraan. *Jurnal Teknik ITS Vol 6, No. 1 ISSN:2337-3539*.
- Hibeller, R.C. (1997). *Mechanics of Material*, Third Edition. New Jersey: Prentice-Hall
- Hidayatulloh, A., Mulyanto, I.P., and Arswendo, B.A. (2017). *Analisa Kekuatan Struktur Helideck pada Kapal Landing Ship Tank (Lst) KRI.Teluk Bintuni 7000 DWT Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Teknik Pekapalan Universitas Diponegoro.
- Hoque, K. N. (2016). *Thesis. Analysis of Structural Discontinues in Ship Hull Using Finite Element Methods*. Dhaka: Bangladesh University of Engineering And Technology.
- IMO (1999). *Recommendation On Helicopter Landing Areas On Ro-Ro Passenger Ships*. English: IMO
- Liu, G. R. & S. S. Queck. 2003. *The Finite Element Method: A Practical Course*. Butterworth Heinemann.
- Meriam, J.L., and Kraige, L.G. (1986): *Engineering Mechanics Statistics*. New York. Wiley, American.

- Mottram, J. T. & C. T. Shaw. 1996. Using Finite Elements in Mechanical Design. McGraw-Hill. Release 10.0 Documentation for ANSYS (ANSYS Help).
- Owen, F.H. and Paik, J. K. (2010). *Ship Structural Analysis and Design*. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Enginne
- Popov, E. P. (1978). *Mechanics of Material*, 2nd edition. New Jersey: Prentice-Hall
- Rabbani, Z., Zubaydi, A., Sujiatanti, S.H. (2017). Analisa Kekuatan Sekat Bergelombang Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS Vol 6, No. 2 ISSN:2337-3539*.
- Sanjaya, D.D., Sujiatanti, S.H., Yulianto, T. (2017). Analisa Kekuatan Konstruksi Wing Tank Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS Vol 6, No. 2 ISSN:2337-3539*.
- Sutehno, W. (2014). Perencanaan Konstruksi Struktur Atas Serta Struktur Helipad Pada Bangunan Rumah Sakit R K Charitas Palembang. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Sriwijaya*
- Sutikno, E. (2011). Analisa Tegangan Akibat Pembebanan Statis Pada Desain Carbody Tec Railbus Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Brawijaya*.
- Timoshenko, S., (1980). *Strength of Material*. Edisi Kedua. New York: D. Van Nostrad Company Inc.

LAMPIRAN

Lampiran A Gambar Rencana Umum Kapal

Lampiran B Gambar Konstruksi Kapal

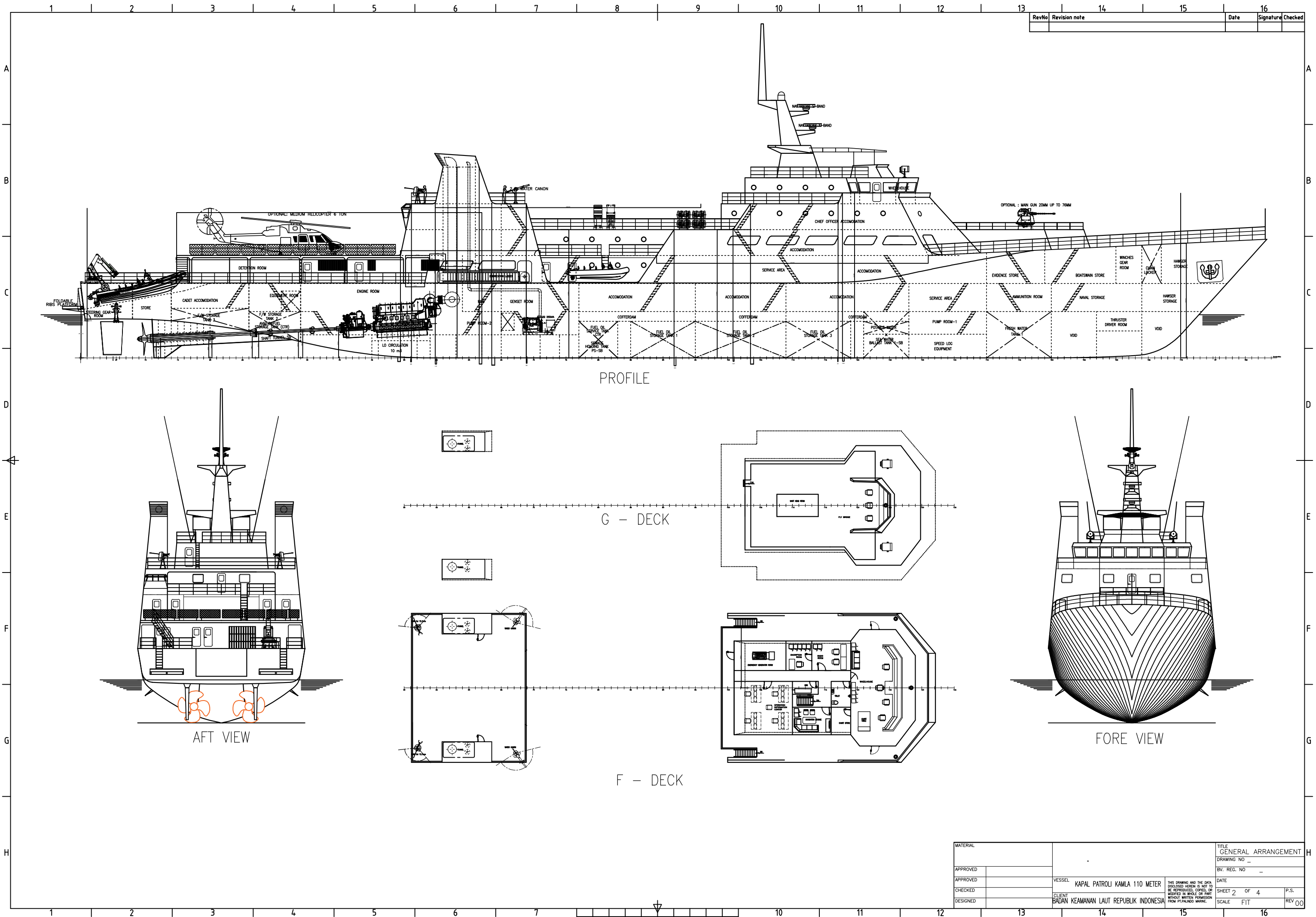
Lampiran C Gambar Penampang Melintang

Lampiran D Katalog Profil

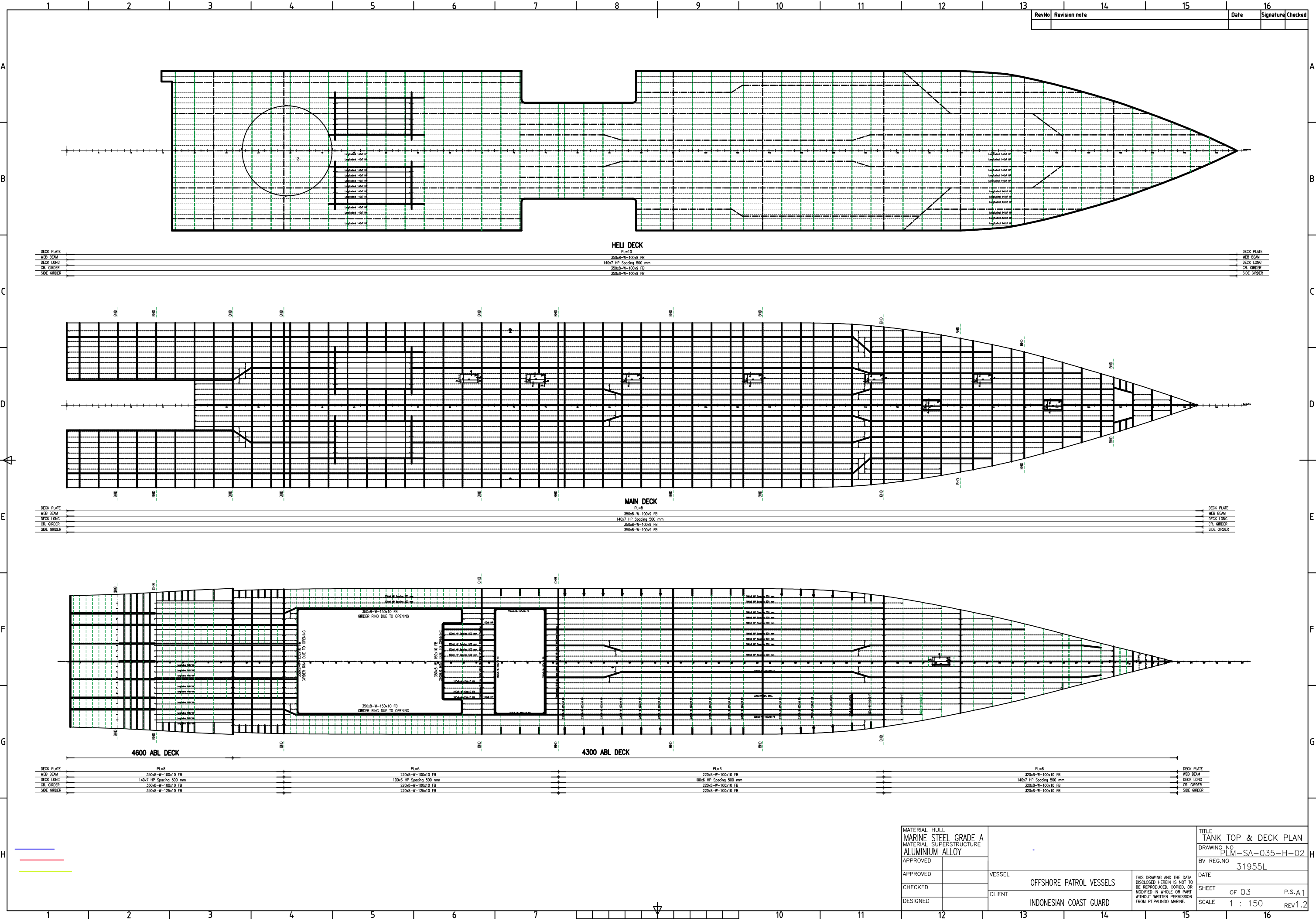
Lampiran E Perhitungan Beban

Lampiran F Konvergensi Model *Helideck*

LAMPIRAN A
GAMBAR RENCANA UMUM KAPAL



LAMPIRAN B
GAMBAR KONSTRUKSI KAPAL



RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

DECK PLATE	PL=10	DECK PLATE
WEB BEAM	350x8-W-100x9 FB	WEB BEAM
DECK LONG	140x7 HP Spacing 500 mm	DECK LONG
CR. GIRDER	350x8-W-100x9 FB	CR. GIRDER
SIDE GIRDER	350x8-W-100x9 FB	SIDE GIRDER

DECK PLATE	PL=8	DECK PLATE
WEB BEAM	350x8-W-100x9 FB	WEB BEAM
DECK LONG	140x7 HP Spacing 500 mm	DECK LONG
CR. GIRDER	350x8-W-100x9 FB	CR. GIRDER
SIDE GIRDER	350x8-W-100x9 FB	SIDE GIRDER

DECK PLATE	PL=8	DECK PLATE
WEB BEAM	350x8-W-100x10 FB	WEB BEAM
DECK LONG	140x7 HP Spacing 500 mm	DECK LONG
CR. GIRDER	350x8-W-100x10 FB	CR. GIRDER
SIDE GIRDER	350x8-W-125x10 FB	SIDE GIRDER

DECK PLATE	PL=6	DECK PLATE
WEB BEAM	220x6-W-100x10 FB	WEB BEAM
DECK LONG	100x6 HP Spacing 500 mm	DECK LONG
CR. GIRDER	220x6-W-100x10 FB	CR. GIRDER
SIDE GIRDER	220x6-W-125x10 FB	SIDE GIRDER

DECK PLATE	PL=6	DECK PLATE
WEB BEAM	220x6-W-100x10 FB	WEB BEAM
DECK LONG	100x6 HP Spacing 500 mm	DECK LONG
CR. GIRDER	220x6-W-100x10 FB	CR. GIRDER
SIDE GIRDER	220x6-W-100x10 FB	SIDE GIRDER

DECK PLATE	PL=8	DECK PLATE
WEB BEAM	320x8-W-100x10 FB	WEB BEAM
DECK LONG	140x7 HP Spacing 500 mm	DECK LONG
CR. GIRDER	320x8-W-100x10 FB	CR. GIRDER
SIDE GIRDER	320x8-W-100x10 FB	SIDE GIRDER

MATERIAL HULL MARINE STEEL GRADE A MATERIAL SUPERSTRUCTURE ALUMINIUM ALLOY	APPROVED	VESSEL OFFSHORE PATROL VESSELS	THIS DRAWING AND THE DATA DISCLOSED HEREIN IS NOT TO BE REPRODUCED, COPIED, OR MODIFIED IN WHOLE OR PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM PT.PALINDO MARINE.	TITLE TANK TOP & DECK PLAN DRAWING NO PLM-SA-035-H-02 BV REG.NO 31955L
APPROVED	CHECKED	CLIENT INDONESIA COAST GUARD		DATE
DESIGNED				SHEET of 03 P.S.A1
				SCALE 1 : 150 REV1.2

LAMPIRAN C
GAMBAR PENAMPANG MELINTANG

LAMPIRAN D
KATALOG PROFIL

A. Katalog Profil Laminorul



TYPICAL SPECIAL PROFILES

LAT CU BULB

APROBAT: Germanischer Lloyd, Det Norske Veritas, Lloyd's Register, Bureau Veritas

FLAT WITH BULB

APPROVED: Germanischer Lloyd, Det Norske Veritas, Lloyd's Register, Bureau Veritas

Otel lat cu bulb

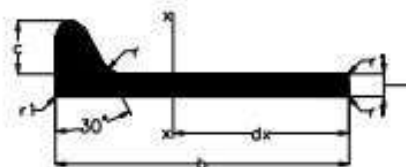
- Dimensiuni și toleranțe în conformitate cu:
EN 10067:1996
SR EN 10067:1999
SR EN 10067/C91:2004

- Otel pentru construcții navale:
GRAD A
GRAD A 36

Flat steel with bulb

- Dimensions and tolerances in accordance with:
EN 10067:1996
SR EN 10067:1999
SR EN 10067/C91:2004

- Ship building steels:
GRAD A
GRAD A 36



Dimensiuni nominale Nominal dimensions	Dimensiuni pentru Dimensions for				Secțiunea transversală Sectional area	Masa lineară Weight per meter	Suprafața laterală Surface area	Mărimi statice pentru axa X-X Section properties		
	b (mm)	t (mm)	c (mm)	r (mm)				Distanța față de centrul de greutate Centroid	Moment de inerție Moment of inertia	Modul de rezistență Coefficient of resistance
					A (cm ²)	G (kg/m)	U (m ² /m)	d _x (cm)	I _x (cm ⁴)	W _x (cm ³)
●80 x 5	80	5	14	4	5.41	4.25	0.189	4.9	33.87	6.91
●80 x 6		6			6.21	4.88	0.191	4.78	38.7	8.1
100 x 7	100	7	15.5	4.5	8.74	6.86	0.236	5.87	85.3	14.5
100 x 8		8			9.74	7.65	0.236	5.78	94.3	16.3
120 x 6	120	6	17	5	9.32	7.32	0.276	7.21	133	18.5
120 x 7		7			10.52	8.26	0.278	7.07	149	21
120 x 8		8			11.72	9.2	0.28	6.96	165	23.6
140 x 7	140	7	19	5.5	12.43	9.75	0.32	8.32	241	29
140 x 8		8			13.83	10.85	0.322	8.18	266	32.5
140 x 10		10			16.63	13.5	0.326	7.99	315	39.5
160 x 7	160	7	22	6	14.6	11.46	0.365	9.66	373	38.6
160 x 8		8			16.2	12.72	0.367	9.5	411	43.3
160 x 9		9			17.8	13.97	0.369	9.37	449	47.9
180 x 8	180	8	25	7	18.86	14.8	0.411	10.89	609	55.9
180 x 9		9			20.66	16.22	0.413	10.73	664	61.8
180x10		10			22.46	17.63	0.415	10.59	717	67.7
200 x 9*		9			23.66	18.57	0.457	12.12	942	77.7
200 x 10	200	10	28	8	25.66	20.14	0.459	11.96	1017	85.1
200 x 11		11			27.66	21.71	0.461	11.82	1091	92.3
200 x 12		12			29.66	23.28	0.463	11.69	1164	99.5
220 x 10	220	10	31	9	29.0	22.77	0.503	13.35	1396	105
220 x 11		11			31.2	24.5	0.506	13.19	1496	114
220 x 12		12			33.4	26.22	0.507	13.04	1595	122
●240x10	240	10	34	10	32.49	25.5	0.547	14.77	1865	126
●240x11		11			34.89	27.39	0.549	14.58	1997	137
●240x12		12			37.29	29.27	0.551	14.42	2127	148
●260x10	260	10	37	11	36.11	28.35	0.591	16.22	2434	150
●260x11		11			38.71	30.39	0.593	16	2605	163
●260x12		12			41.31	32.43	0.596	15.81	2774	175

*În curs de asimilare;

*Dimensiunile se fabrică la înțelegere;

L

Cornier cu aripi egale

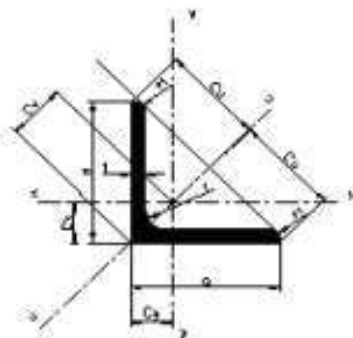
- Dimensiuni și toleranțe în conformitate cu:

EN 10056-1:1998
 EN 10056-2:1994
 DIN 1028:1963
 SR EN 10056-1:2000
 SR EN 10056-2:1996
 - Marci de oțel:
 EN 10025-1:2004
 EN 10025-2:2004

Equal angles

- Dimensions and tolerances in accordance with:

EN 10056-1:1998
 EN 10056-2:1994
 DIN 1028:1963
 SR EN 10056-1:2000
 SR EN 10056-2:1996
 - Steel grades:
 EN 10025-1:2004
 EN 10025-2:2004



Denumire Designation a x a x t (mm)	G (kg/m)	A (cm ²)	Dimensiuni Dimensions			Distanțe ale centrului de greutate Distances of center of gravity			Marimi statice Section properties							
									X-X=Y-Y			U-U			V-V	
			a (mm)	t (mm)	r (mm)	Cx=Cy (cm)	Cu (cm)	Cv (cm)	Ix=Iy (cm ⁴)	Ix=Iy (cm ⁴)	Zx=Zy (cm ³)	Iu (cm ⁴)	Iu (cm ⁴)	Iv (cm ⁴)	Iv (cm ⁴)	Zv (cm ³)
40x40x4	2.42	3.08	40	4	6	1.12	2.83	1.58	4.47	1.21	1.55	7.09	1.52	1.86	0.777	1.17
40x40x5	2.97	3.79	40	5	6	1.16	2.83	1.64	5.43	1.2	1.91	8.6	1.51	2.26	0.773	1.38
40x40x6*	3.52	4.48	40	6	6	1.20	2.83	1.70	6.33	1.19	2.26	9.98	1.49	2.67	0.770	1.57
45x45x4	2.74	3.49	45	4	7	1.23	3.18	1.75	6.43	1.36	1.97	10.2	1.71	2.68	0.88	1.53
45x45x5	3.38	4.30	45	5	7	1.28	3.18	1.81	7.83	1.35	2.43	12.4	1.70	3.25	0.87	1.80
45x45x6	4.00	5.09	45	6	7	1.32	3.18	1.87	9.16	1.34	2.88	14.5	1.69	3.83	0.87	2.05
50x50x4	3.06	3.89	50	4	7	1.36	3.54	1.92	8.97	1.52	2.46	14.2	1.91	3.73	0.979	1.94
50x50x5	3.77	4.8	50	5	7	1.4	3.54	1.99	11	1.51	3.05	17.4	1.9	4.55	0.973	2.29
50x50x6	4.47	5.69	50	6	7	1.45	3.54	2.04	12.8	1.5	3.61	20.3	1.89	5.34	0.968	2.61
50x50x7	5.15	6.56	50	7	7	1.49	3.54	2.11	14.6	1.49	4.15	23.1	1.88	6.02	0.96	2.85
50x50x8*	5.82	7.41	50	8	7	1.52	3.54	2.16	16.3	1.48	4.68	25.7	1.86	6.87	0.96	3.19
60x60x5	4.57	5.82	60	5	8	1.64	4.24	2.32	19.4	1.82	4.45	30.7	2.3	8.03	1.17	3.46
60x60x6	5.42	6.91	60	6	8	1.69	4.24	2.39	22.8	1.82	5.29	36.1	2.29	9.44	1.17	3.96
60x60x8	7.09	9.03	60	8	8	1.77	4.24	2.5	29.2	1.8	6.89	46.1	2.26	12.2	1.16	4.86
70x70x6	6.38	8.13	70	6	9	1.93	4.95	2.73	36.9	2.13	7.27	58.5	2.68	15.3	1.37	5.6
70x70x7	7.38	9.4	70	7	9	1.97	4.95	2.79	42.3	2.12	8.41	67.1	2.67	17.5	1.36	6.28
70x70x9*	9.34	11.9	70	9	9	2.05	4.95	2.90	52.6	2.10	10.6	83.1	2.64	22.0	1.36	7.59
80x80x7*	8.49	10.8	80	7	10	2.21	5.66	3.13	64.2	2.44	11.1	102	3.07	26.5	1.57	8.48
80x80x8	9.63	12.3	80	8	10	2.26	5.66	3.19	72.2	2.43	12.6	115	3.06	29.9	1.56	9.37
80x80x10	11.9	15.1	80	10	10	2.34	5.66	3.3	87.5	2.41	15.4	139	3.03	36.4	1.55	11
90x90x7	9.61	12.2	90	7	11	2.45	6.36	3.47	92.6	2.75	14.1	147	3.46	38.3	1.77	11
90x90x8	10.9	13.9	90	8	11	2.5	6.36	3.53	104	2.74	16.1	166	3.45	43.1	1.76	12.2
90x90x9	12.2	15.5	90	9	11	2.54	6.36	3.59	116	2.73	17.9	184	3.44	47.9	1.76	13.3
90x90x10	13.4	17.1	90	10	11	2.58	6.36	3.65	127	2.72	19.8	201	3.42	52.6	1.75	14.4
90x90x11*	14.7	18.7	90	11	11	2.62	6.36	3.70	138	2.72	21.6	218	3.41	57.1	1.76	15.4
100x100x8	12.2	15.5	100	8	12	2.74	7.07	3.87	145	3.06	19.9	230	3.85	59.9	1.96	15.5
100x100x10	15	19.2	100	10	12	2.82	7.07	3.99	177	3.04	24.6	280	3.83	73	1.95	18.3
100x100x12	17.8	22.7	100	12	12	2.9	7.07	4.11	207	3.02	29.1	328	3.8	85.7	1.94	20.9
120x120x10	18.2	23.2	120	10	13	3.31	8.49	4.69	313	3.67	36.0	497	4.63	129	2.36	27.5
120x120x11*	19.9	25.4	120	11	13	3.36	8.49	4.75	341	3.67	39.5	541	4.63	140	2.36	29.5
120x120x12	19.9	25.4	120	12	13	3.40	8.49	4.80	368	3.65	42.7	584	4.60	152	2.35	31.6
120x120x13*	23.3	29.7	120	13	13	3.44	8.49	4.86	394	3.65	46.0	625	4.60	162	2.35	33.3
140x140x13	27.5	35.0	140	13	15	3.92	9.90	5.54	638	4.27	63.3	1010	5.38	262	2.74	47.3
140x140x15*	31.4	40.0	140	15	15	4.00	9.90	5.66	723	4.25	72.3	1150	5.36	298	2.73	52.7
150x150x12	27.3	34.8	150	12	16	4.12	10.6	5.83	737	4.60	67.7	1170	5.80	303	2.95	52.0

*Dimensiunile se fabrică la întregere

• În curs de asimilare

LL

Cornier cu aripi inegale

• *Dimensiuni și toleranțe în conformitate cu:*

EN 10056-1:1998
 EN 10056-2:1994
 SR EN 10056-1:2000
 SR EN 10056-2:1996

• *Marci de oțel:*

EN 10025-1:2004
 EN 10025-2:2004

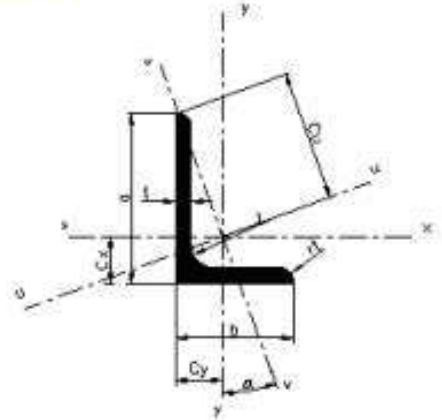
Unequal angles

• *Dimensions and tolerances in accordance with:*

EN 10056-1:1998
 EN 10056-2:1994
 SR EN 10056-1:2000
 SR EN 10056-2:1996

• *Steel grades:*

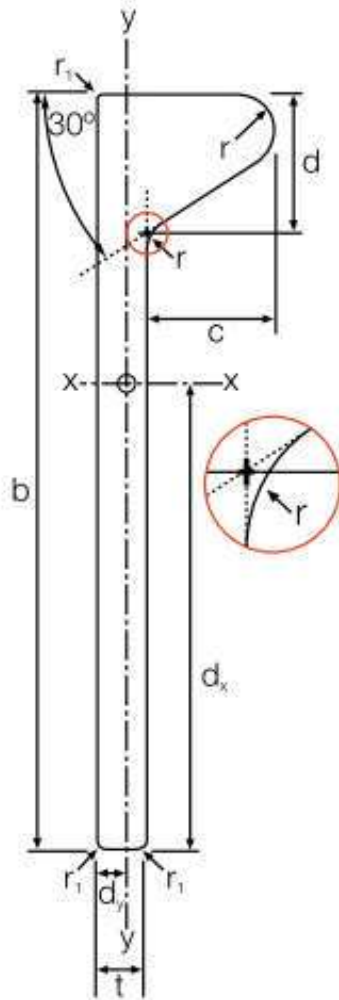
EN 10025-1:2004
 EN 10025-2:2004



Denumire Designation a x b x t (mm)	G (kg/ m)	A (cm ²)	Dimensiuni Dimensions				Distanțe ale centrului de greutate Distances of center of gravity				Marimi statice Section properties								I _{ga}		
											X-X			Y-Y			U-U			V-V	
			a	b	t	r	C _x	C _y	C _u	C _v	I _x (cm ⁴)	i _x (cm)	Z _x (cm ³)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	Z _y (cm ³)	I _u (cm ⁴)	i _u (cm)		I _v (cm ⁴)	i _v (cm)
			mm				cm														
60x40x5	3.76	4.79	60	40	5	6	1.96	0.97	4.1	2.11	17.2	1.89	4.25	6.11	1.13	2.02	19.7	2.03	3.54	0.86	0.434
60x40x6	4.46	5.68	60	40	6	6	2	1.01	4.08	2.1	20.1	1.88	5.03	7.12	1.12	2.38	23.1	2.02	4.16	0.85	0.431
100x75x7*	9.32	11.9	100	75	7	10	3.06	1.83	6.96	3.61	118	3.15	17	56.9	2.19	10.0	145	3.49	30.1	1.59	0.553
100x75x8	10.6	13.5	100	75	8	10	3.1	1.87	6.95	3.65	133	3.14	19.3	64.1	2.18	11.4	162	3.47	34.6	1.6	0.547

*Dimensiunile se fabrică la înțelegere

Dimensions and properties



Width	Thickness	Mass per Unit Length	Bulb Height	Bulb Width	Bulb Radius	Area of cross-section	Surface Area
b [mm]	t [mm]	G [kg/m]	c [mm]	d [mm]	r [mm]	F [cm ²]	U [m ² /m]
120	6	7.31	17	17.7	5	9.31	0.276
	7	8.25	17	17.7	5	10.5	0.278
	8	9.19	17	17.7	5	11.7	0.280
140	6.5	9.21	19	19.7	5.5	11.7	0.319
	7	9.74	19	19.7	5.5	12.4	0.320
	8	10.8	19	19.7	5.5	13.8	0.322
	10	13.0	19	19.7	5.5	16.6	0.326
160	7	11.4	22	22.2	6	14.6	0.365
	8	12.7	22	22.2	6	16.2	0.367
	9	14.0	22	22.2	6	17.8	0.369
	11.5	17.3	22	22.2	6	21.8	0.374
180	8	14.8	25	25.5	7	18.9	0.411
	9	16.2	25	25.5	7	20.7	0.413
	10	17.6	25	25.5	7	22.5	0.415
	11.5	19.7	25	25.5	7	25.2	0.418
200	8.5	17.8	28	28.8	8	22.6	0.456
	9	18.5	28	28.8	8	23.6	0.457
	10	20.1	28	28.8	8	25.6	0.459
	11	21.7	28	28.8	8	27.6	0.461
	12	23.2	28	28.8	8	29.6	0.463
220	9	21.0	31	32.1	9	26.8	0.501
	10	22.8	31	32.1	9	29.0	0.503
	11	24.5	31	32.1	9	31.2	0.505
	12	26.2	31	32.1	9	33.4	0.507
240	9.5	24.4	34	35.4	10	31.2	0.546
	10	25.4	34	35.4	10	32.4	0.547
	11	27.4	34	35.4	10	34.9	0.549
	12	29.3	34	35.4	10	37.3	0.551
260	10	28.3	37	38.7	11	36.1	0.593
	11	30.3	37	38.7	11	38.7	0.593
	12	32.4	37	38.7	11	41.3	0.595
280	10.5	32.4	40	42.0	12	41.2	0.636
	11	33.5	40	42.0	12	42.6	0.637
	12	35.7	40	42.0	12	45.5	0.639
	13	37.9	40	42.0	12	48.4	0.641
300	11	36.7	43	45.3	13	46.7	0.681
	12	39.0	43	45.3	13	49.7	0.683
	13	41.5	43	45.3	13	52.8	0.685
320	11.5	41.2	46	48.6	14	52.6	0.727
	12	42.5	46	48.6	14	54.2	0.728
	13	45.0	46	48.6	14	57.4	0.730
	14	47.5	46	48.6	14	60.6	0.732
340	12	46.1	49	52.0	15	58.8	0.772
	13	48.8	49	52.0	15	62.2	0.774
	14	51.5	49	52.0	15	65.5	0.776
	15	54.2	49	52.0	15	69.0	0.778
370	12.5	53.1	53.5	56.9	16.5	67.8	0.839
	13	54.6	53.5	56.9	16.5	69.6	0.840
	14	57.5	53.5	56.9	16.5	73.3	0.842
	15	60.5	53.5	56.9	16.5	77.0	0.844
	16	63.5	53.5	56.9	16.5	80.7	0.846
400	13	60.8	58	61.9	18	77.4	0.907
	14	63.9	58	61.9	18	81.4	0.908
	15	67.0	58	61.9	18	85.4	0.910
	16	70.2	58	61.9	18	89.4	0.912
430	14	70.6	62.5	66.8	19.5	89.7	0.975
	15	73.9	62.5	66.8	19.5	94.1	0.976
	17	80.6	62.5	66.8	19.5	103.0	0.980
	20	90.8	62.5	66.8	19.5	115.0	0.986

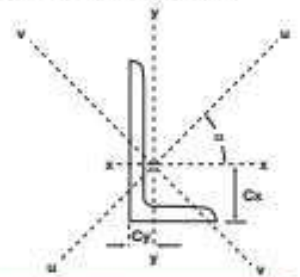
Additional sizes may be available by agreement: 80 & 100 DIN range
180, 200, 230 and 250 JIS range

* Values for H are taken about the line of attachment.

Distance of Centre of Gravity		Second Moment of Area		Elastic Modulus		Radius of Gyration		Warping Constant	Torsional Constant
d_x [mm]	d_y [mm]	Axis $x-x$ [cm ⁴]	Axis $y-y$ [cm ⁴]	Axis $x-x$ [cm ⁴]	Axis $y-y$ [cm ⁴]	Axis $x-x$ [cm]	Axis $y-y$ [cm]	I^w [cm ⁶ (x10 ⁹)]	J [cm ⁴]
72.0	5.3	133	2.34	18.4	4.42	3.78	0.50	0.242	1.595
70.7	5.6	148	2.70	21.0	4.82	3.75	0.51	0.251	2.100
69.6	6.0	164	3.10	23.6	5.17	3.74	0.51	0.263	2.773
83.7	5.8	228	3.57	27.3	6.16	4.41	0.55	0.504	2.383
83.1	5.9	241	3.80	29.0	6.44	4.41	0.55	0.508	2.708
81.8	6.3	266	4.32	32.5	6.86	4.39	0.56	0.528	3.501
79.2	7.0	316	5.56	39.9	7.94	4.36	0.58	0.575	5.752
96.6	6.4	373	5.86	38.6	9.16	5.05	0.63	1.12	3.681
94.9	6.8	411	6.55	43.3	9.63	5.04	0.64	1.16	4.600
93.6	7.1	448	7.32	47.9	10.3	5.02	0.64	1.20	5.763
91.1	8.1	544	9.62	59.8	11.9	5.00	0.66	1.31	9.936
109	7.4	609	9.90	55.9	13.4	5.68	0.72	2.45	6.352
107	7.7	665	10.93	62.1	14.2	5.67	0.73	2.51	7.686
106	8.1	717	12.05	67.8	14.9	5.65	0.73	2.58	9.328
104	8.6	799	13.93	76.8	16.2	5.63	0.74	2.71	12.44
122	8.2	902	15.07	74.0	18.4	6.32	0.82	4.67	9.129
121	8.4	941	15.76	77.7	18.8	6.31	0.82	4.72	9.924
119	8.7	1020	17.21	85.0	19.8	6.31	0.82	4.83	11.70
118	9.0	1090	18.77	92.3	20.9	6.28	0.82	4.93	14.00
117	9.4	1160	20.46	99.6	21.8	6.26	0.83	5.09	16.65
136	9.1	1296	22.03	95.3	24.2	6.95	0.91	8.64	13.24
134	9.3	1400	23.89	105	25.7	6.95	0.91	8.80	15.31
132	9.6	1500	25.86	113	26.9	6.93	0.91	8.98	17.81
130	10.0	1590	27.98	122	28.0	6.90	0.92	9.18	20.76
148	9.9	1800	31.15	123	31.5	7.60	1.00	14.8	18.16
147	10.0	1860	32.34	126	32.3	7.58	1.00	14.9	19.37
146	10.3	2000	34.81	137	33.8	7.57	1.00	15.3	22.46
144	10.6	2130	37.43	148	35.3	7.56	1.00	15.6	25.73
162	10.7	2477	42.84	153	40.0	8.28	1.09	24.7	25.03
160	11.0	2610	45.90	162	41.7	8.21	1.09	25.0	28.09
158	11.3	2770	49.11	175	43.5	8.19	1.09	25.4	31.68
175	11.6	3223	57.55	184	49.6	8.84	1.18	39.0	33.05
174	11.7	3330	59.44	191	50.8	8.84	1.18	39.2	34.80
172	11.9	3550	63.34	206	53.2	8.83	1.18	40.1	39.19
170	12.2	3760	67.42	221	55.3	8.81	1.18	41.0	44.25
189	12.4	4190	75.74	222	61.1	9.47	1.27	59.9	43.25
187	12.6	4460	80.44	239	63.8	9.47	1.27	60.5	47.55
185	12.9	4720	85.33	256	66.1	9.45	1.27	61.8	53.06
202	13.3	5370	97.92	266	73.6	10.10	1.36	89.9	56.02
201	13.4	5530	100.8	274	75.2	10.10	1.36	90.3	58.45
199	13.6	5850	106.6	294	78.6	10.10	1.36	91.2	63.86
197	13.9	6170	112.6	313	81.0	10.09	1.36	92.3	70.06
215	14.1	6760	124.6	313	88.4	10.72	1.46	131	71.17
213	14.3	7160	131.5	335	92.0	10.73	1.45	132	77.02
211	14.6	7540	138.6	357	94.9	10.73	1.45	133	83.00
209	14.8	7920	145.9	379	98.6	10.71	1.45	135	91.30
236	15.4	9213	172.3	390	112	11.66	1.59	221	97.66
235	15.4	9470	176.7	402	115	11.66	1.59	221	100.7
232	15.6	9980	185.7	428	119	11.67	1.59	223	108.1
230	15.9	10490	194.8	455	123	11.67	1.59	225	116.6
228	16.1	10980	204.3	481	127	11.66	1.59	227	126.0
258	16.6	12280	232.4	476	140	12.60	1.73	357	131.0
255	16.8	12930	243.6	507	145	12.60	1.73	359	139.3
252	17.0	13580	255.0	537	150	12.61	1.73	362	148.7
250	17.2	14220	266.6	568	155	12.61	1.73	364	159.6
277	17.9	16480	313.9	594	175	13.55	1.87	557	176.6
274	18.1	17260	327.9	626	181	13.54	1.87	562	187.9
269	18.5	18860	356.7	700	193	13.53	1.86	576	215.6
263	19.3	21180	402.6	804	209	13.57	1.87	570	252.6

Unequal angles

Dimensions and properties to BS EN 10056-1: 1999



Radius of Gyration				Elastic Modulus		Angle Axis x-x to Axis y-y Tan α	Torsinal Constant J cm ⁴	Equivalent Slenderness Coefficient		Mono- Symmetry Index ψ_a	Mass per metre kg/m	Designation	
Axis x-x cm	Axis y-y cm	Axis u-u cm	Axis v-v cm	Axis x-x cm ²	Axis y-y cm ²			Min. Φ_a	Max. Φ_a			Serial Size A x B x t mm x mm x mm	
6.29	4.37	6.97	3.22	174	103	0.549	67.9	2.93	3.72	4.60	47.1	200 x 150 x 18	†
6.33	4.40	7.00	3.23	147	86.9	0.551	39.9	3.53	4.50	5.55	39.6	200 x 150 x 15	
6.36	4.44	7.04	3.25	119	70.5	0.552	20.9	4.43	5.70	6.97	32.0	200 x 150 x 12	
6.40	2.64	6.59	2.12	137	38.4	0.260	34.3	3.54	5.17	9.19	33.7	200 x 100 x 15	
6.43	2.67	6.63	2.14	111	31.3	0.262	18.0	4.42	6.57	11.5	27.3	200 x 100 x 12	
6.46	2.68	6.65	2.15	93.3	26.3	0.263	10.66	5.26	7.92	13.9	23.0	200 x 100 x 10	
4.74	2.46	4.98	1.93	77.7	30.4	0.354	26.8	2.58	3.59	5.96	26.6	150 x 90 x 15	
4.78	2.49	5.02	1.94	63.3	24.8	0.358	14.1	3.24	4.58	7.50	21.6	150 x 90 x 12	
4.80	2.51	5.05	1.95	53.3	21.0	0.360	8.30	3.89	5.56	9.03	18.2	150 x 90 x 10	
4.75	1.94	4.88	1.58	75.2	21.0	0.253	25.1	2.62	3.74	6.84	24.8	150 x 75 x 15	
4.78	1.97	4.92	1.59	61.3	17.1	0.258	13.2	3.30	4.79	8.60	20.2	150 x 75 x 12	
4.81	1.99	4.95	1.60	51.7	14.5	0.261	7.8	3.95	5.83	10.4	17.0	150 x 75 x 10	
3.95	2.05	4.15	1.61	43.2	16.9	0.354	11.6	2.66	3.73	6.23	17.8	125 x 75 x 12	
3.97	2.07	4.18	1.61	36.5	14.3	0.357	6.87	3.21	4.55	7.50	15.0	125 x 75 x 10	
4.00	2.09	4.21	1.63	29.6	11.6	0.360	3.62	4.00	5.75	9.43	12.2	125 x 75 x 8	
3.10	2.14	3.42	1.59	28.1	16.5	0.540	10.05	2.10	2.64	3.46	15.4	100 x 75 x 12	
3.12	2.16	3.45	1.59	23.8	14.0	0.544	5.95	2.54	3.22	4.17	13.0	100 x 75 x 10	
3.14	2.18	3.47	1.60	19.3	11.4	0.547	3.13	3.18	4.08	5.24	10.6	100 x 75 x 8	
3.14	1.81	3.35	1.39	23.2	10.5	0.410	5.61	2.52	3.43	5.45	12.3	100 x 65 x 10	†
3.16	1.83	3.37	1.40	18.9	8.54	0.413	2.96	3.14	4.35	6.86	9.9	100 x 65 x 8	†
3.17	1.83	3.39	1.40	16.6	7.53	0.415	2.02	3.58	5.00	7.85	8.8	100 x 65 x 7	†

LAMPIRAN E
PERHITUNGAN BEBAN

Perhitungan beban

Beban yang digunakan adalah helikopter Airbus H175 dengan berat sebesar 7.800 kg

$$\begin{aligned} G &= m \cdot g \\ &= 78000 \times 9.8 \\ &= 76440 \text{ N} = 76.44 \text{ kN} \\ P &= 0.75 \times G \\ &= 0.75 \times 76.44 \\ &= 57.33 \text{ kN} \quad (\text{gaya yang diberikan oleh satu roda}) \end{aligned}$$

2 Roda belakang dengan masing-masing area sebesar luasan area sebesar 0.09 m^2

Tekanan yang diterima masing-masing area helideck yang menumpu roda belakang sebesar

$$\begin{aligned} &= 57330 \text{ kN}/0.09 \\ &= 637000 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

1 Roda depan yang memiliki dua roda yang bergandengan sehingga gaya yang diberikan dibagi kedua roda yang ada dengan masing-masing luasan area sebesar 0.0225

Tekanan yang diterima masing-masing area helideck yang menumpu roda belakang sebesar

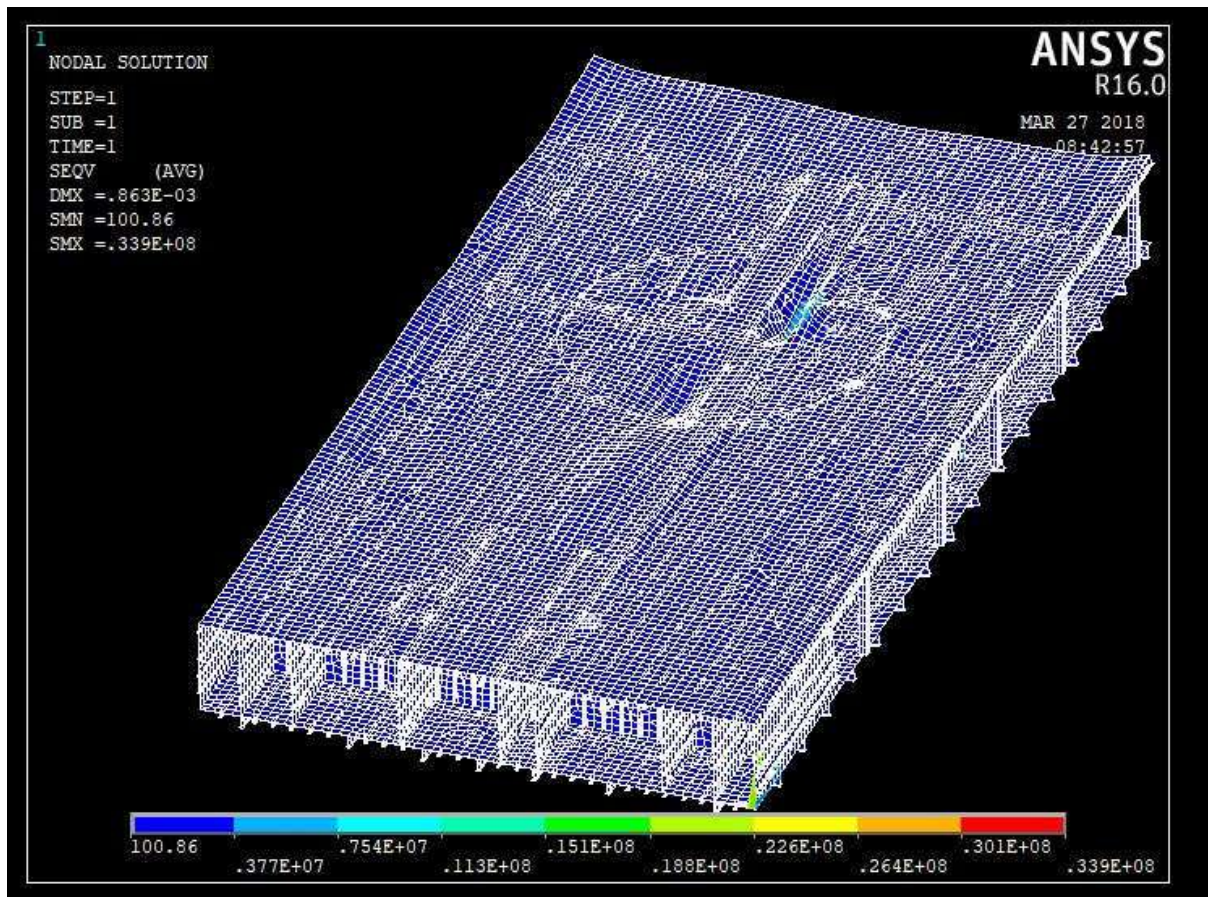
$$\begin{aligned} &= 28665 \text{ kN}/0.0225 \\ &= 1274000 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wind Load} &= 0.5 \times \rho \times v_w^2 \times A \times 10^{-3} \\ &= 0.5 \times 1.2 \times 25^2 \times (3.14 \times 7.4^2) \times 10^{-3} \\ &= 64.479 \text{ kN} \\ &= 64479 \text{ N} \end{aligned}$$

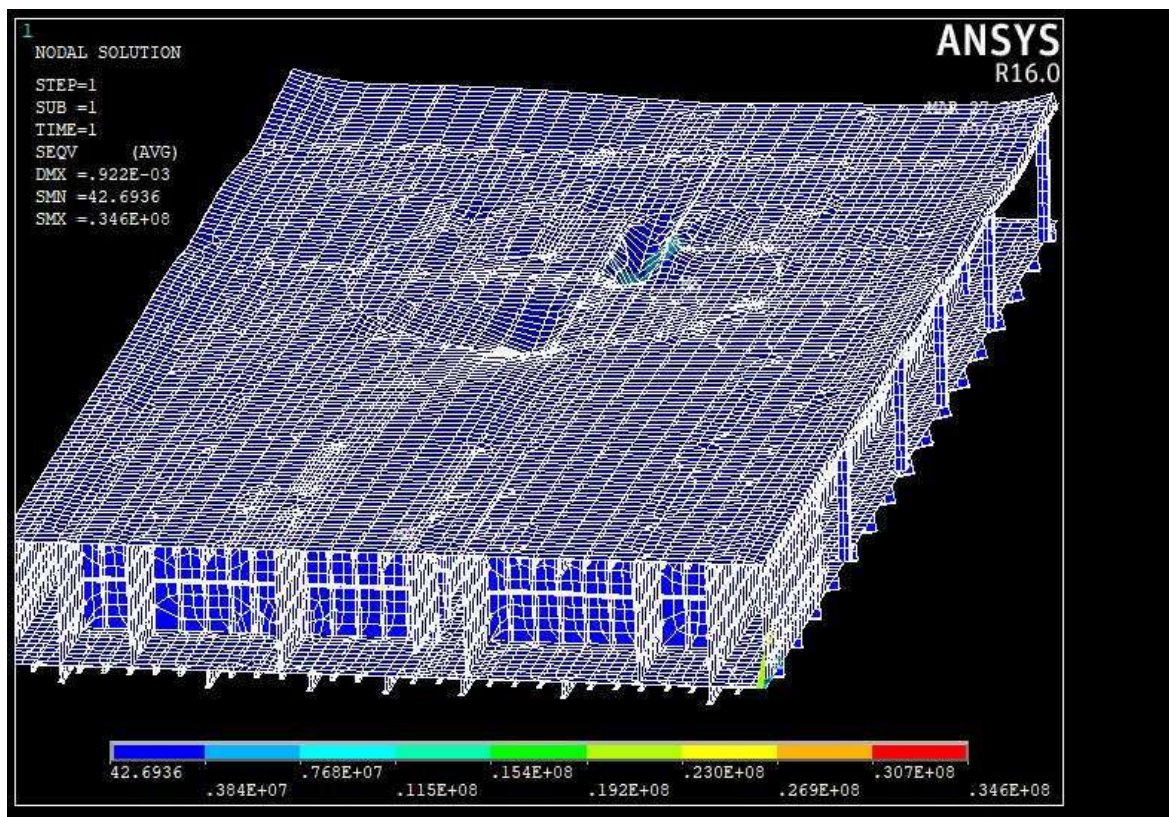
Dan tekanan yang diterima area *helideck* sebesar

$$\begin{aligned} &= 64479 / (3.14 \times 7.4^2) \\ &= 375 \end{aligned}$$

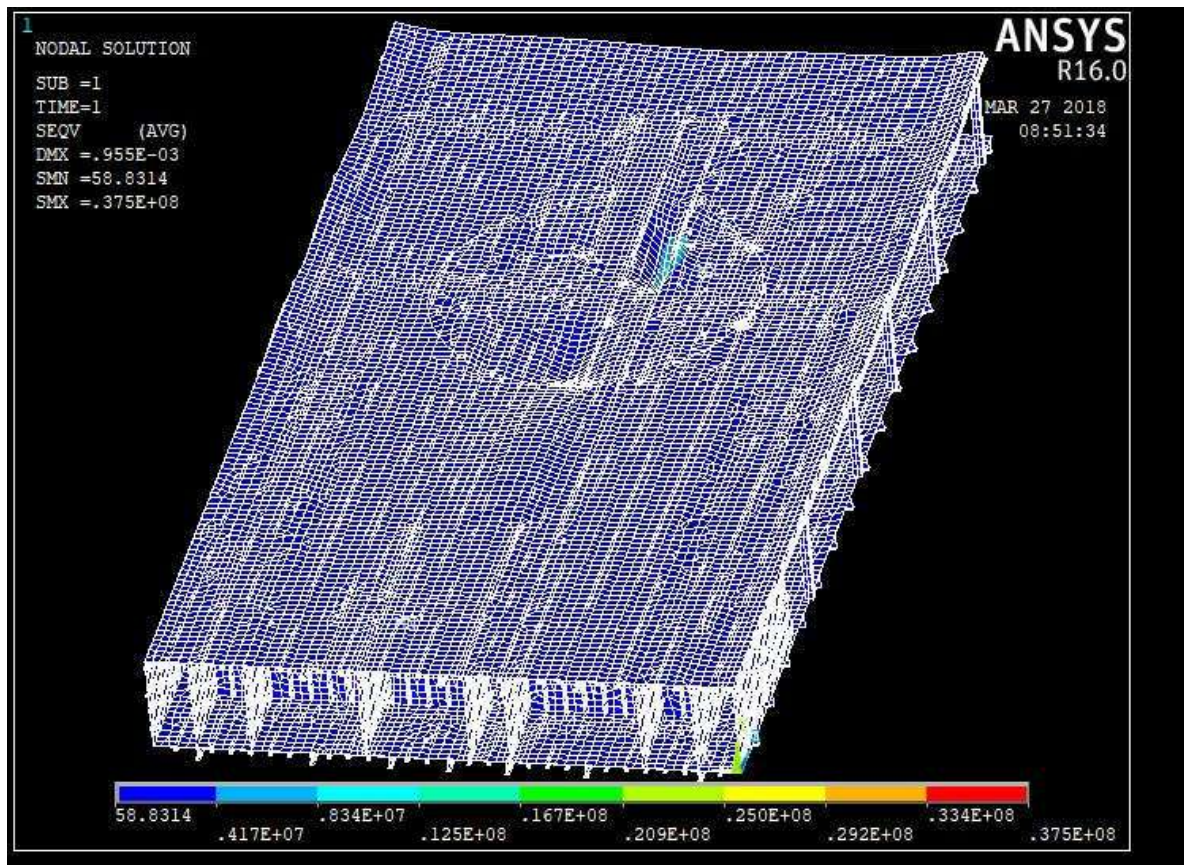
LAMPIRAN F
KONVERGENSI MODEL *HELIDECK*



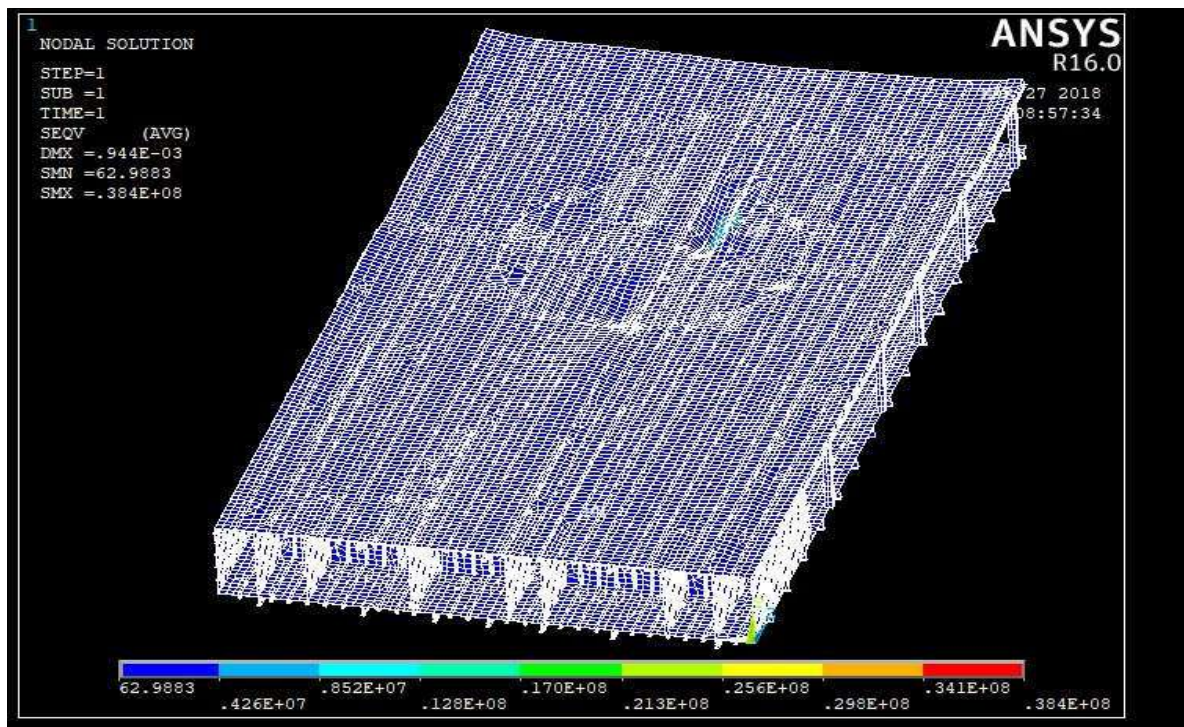
Element Size 0.3 m dengan jumlah elemen 45401 dan nilai tegangan maksimum 0.339 MPa



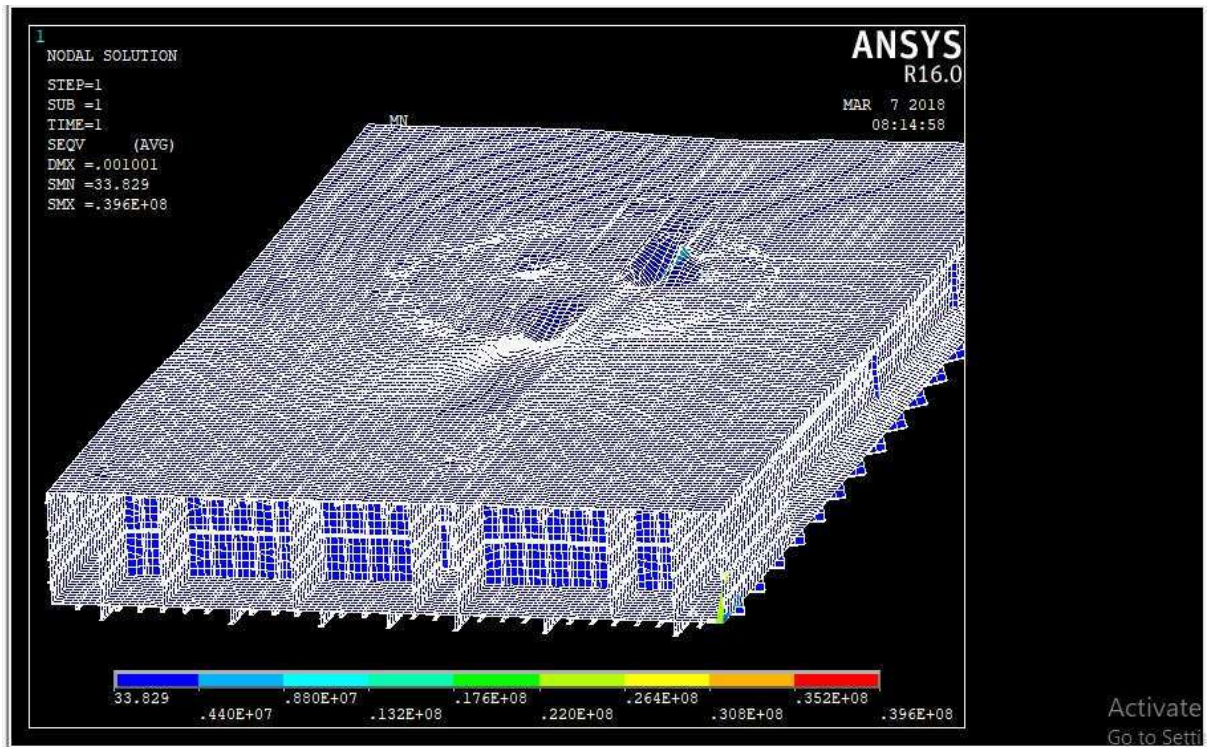
Element Size 0,28 m dengan jumlah elemen 46453 dan nilai tegangan maksimum 0.346 MPa



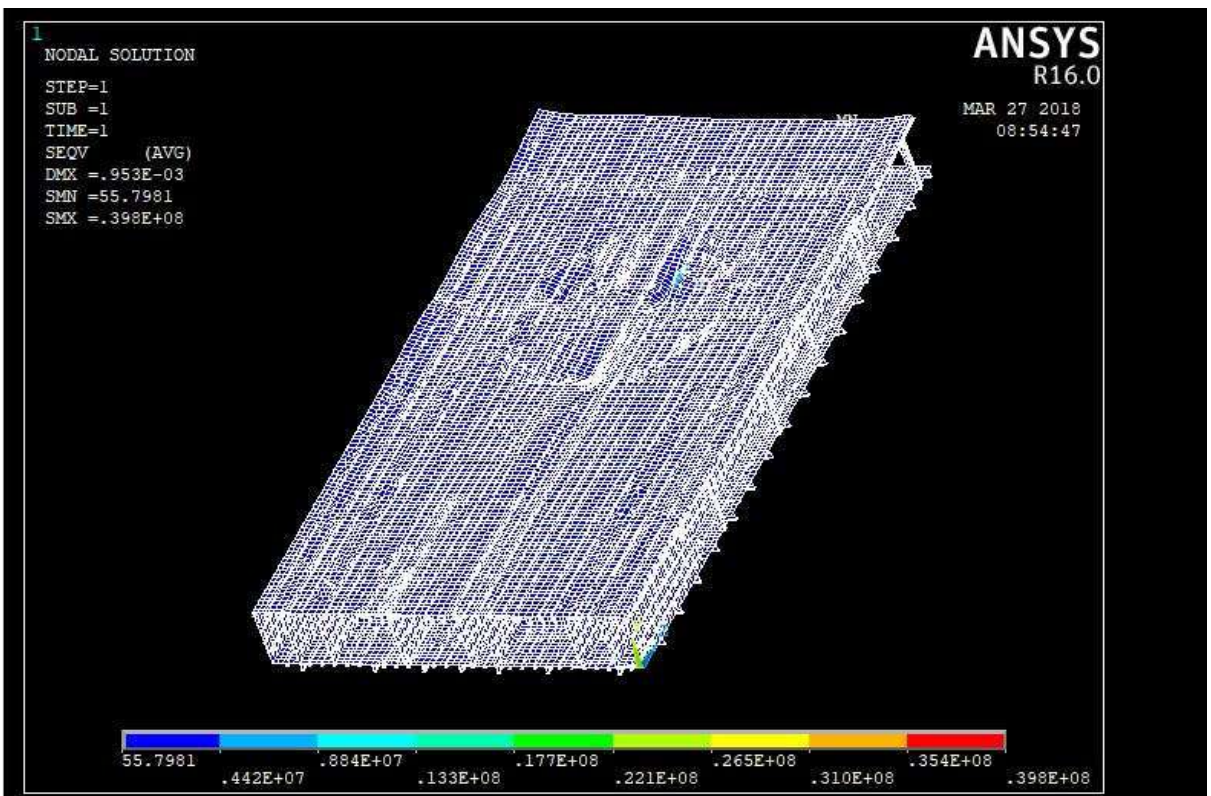
Element Size 0,26 m dengan jumlah elemen 47857 dan nilai tegangan maksimum 0.375 MPa



Elemet Size 0,24 m dengan jumlah elemen 49813 dan nilai tegangan maksimum 0.384 MPa



Elemet Size 0,22 m dengan jumlah elemen 51744 dan nilai tegangan maksimum 0.396 MPa



Elemet Size 0,2 m dengan jumlah elemen 59659 dan nilai tegangan maksimum 0.398 MPa

BIODATA PENULIS



Refdi, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Payakumbuh pada 23 Desember 1995 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Pembina Batam, kemudian melanjutkan ke SDN 005 Sekupang, SMPN 3 Batam dan SMAN 1 Batam. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2014 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa BEM FTK ITS 2015/2016 dan *staff* Departemen Kemasiswaan Himatekpal 2015/2016, serta menjadi *Steering Committee* HIMATEKPAL 2016/2017. Selain itu, penulis juga sempat bergabung dengan beberapa kepanitiaan yang diselenggara oleh Himpunan dan BEM ITS seperti Gerigi ITS, Sampan ITS, dan masih ada beberapa kegiatan kemahasiswaan lainnya.

Email: refdigr@gmail.com